

Учреждение образования
«Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия»

Факультет механизации сельского хозяйства

Кафедра технического сервиса и общинженерных дисциплин

СОГЛАСОВАНО

Председатель методической комиссии
факультета механизации сельского
хозяйства

_____ Г.Н. Лысевский
_____ 2019 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета механизации
сельского хозяйства

_____ В.В. Гусаров
_____ 2019 г.

**УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ОСНОВЫ
ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

для специальности 1-74 06 04 – Техническое обеспечение
мелиоративных и водохозяйственных работ

Горки
БГСХА
2019

Рекомендован научно-методическим советом УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (протокол № 9 от 29 мая 2019 г.)

Составители: КОЦУБА В.И., кандидат технических наук, доцент
САВЕНОК Л.И., кандидат технических наук, доцент

Рецензенты: ДУБЕНЬ И.В., Доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии УО «Барановичский государственный университет», кандидат технических наук, доцент;
МАРКЕВИЧ А.Е., главный инженер ООО «Ремком», кандидат технических наук

Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов: учебно-методический комплекс / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. Сост. В. И. Коцуба, Л. И. Савенок. – Горки: БГСХА, 2019. – 406 с.

© Учреждение образования
«Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
1.1 Тематические планы чтения лекций.....	6
1.2 Опорный конспект лекций.....	7
РАЗДЕЛ I. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....	7
Тема 1. Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов. Теория сплавов.....	8
Тема 2. Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны.....	40
Тема 3. Основы теории и технологии термической обработки.....	53
Тема 4. Инструментальные материалы. Цветные металлы и сплавы.....	82
Тема 5. Порошковые и неметаллические материалы.....	97
РАЗДЕЛ II. ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА.....	103
Тема 1. Основы металлургии и литейное производство.....	103
Тема 2. Обработка металлов давлением.....	141
Тема 3. Сварочное производство.....	177
РАЗДЕЛ III. ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ.....	188
Тема 1. Сущность процесса резания и его основные элементы (на примере токарной обработки).....	188
Тема 2. Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация.....	205
Тема 3. Основы технологии машиностроения.....	261
1.3 Тематика реферативных работ.....	271
1.4 Литература.....	273
2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	274
2.1 Тематические планы проведения лабораторных занятий.....	274
2.2 Методические рекомендации для проведения лабораторных занятий.....	276
Испытание на твердость по Бринеллю.....	276
Испытание на твердость по Роквеллу.....	276
Термический анализ. Построение диаграммы состояния сплавов цинк – олово.....	277
Изучение микроструктуры чистых металлов.....	282
Конструкция и геометрические параметры некоторых многолезвийных инструментов.....	286
Абразивные материалы, их характеристика и применение.....	299
Заточка лезвийного режущего инструмента.....	316
Вертикально-сверлильный станок 2А125. Устройство и настройка.....	328
Поперечно-строгальный станок 7307ГТ. Устройство и настройка.....	337
Токарно-винторезный станок 1В62Г. Устройство и настройка.....	346
Зависимость вертикальной составляющей силы резания от режима обработки при точении.....	365
Основные способы проверки токарного станка на точность.....	376
3 РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	382
3.1 Вопросы промежуточного контроля.....	382
3.2 Вопросы текущей аттестации.....	383
3.4 Критерии оценки результатов учебной деятельности.....	388
4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	389
4.1 Учебная программа.....	389

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов» относится к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей инженерного профиля в т. ч. и для специальности

1-74 06 04 «Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ».

При изучении учебной дисциплины студенты получают требуемую общеинженерную, технологическую подготовку, основы знаний, необходимых при работе на производстве. Для успешного решения многих практических задач необходимо знать современные материалы, их свойства, способы получения и обработки, технологические приемы управления этими свойствами и рациональные области применения.

Высокий уровень знаний специалиста в области материаловедения и производственных технологий обеспечит действенные подходы к решению имеющихся проблем в части снижения затрат на проведение мелиоративных и водохозяйственных работ и повышения эффективности производства, разработке качественно новых конкурентно способных технологий на основе использования современных материалов.

Учебная дисциплина состоит из трех разделов: «Материаловедение», «Горячая обработка металлов» и «Обработка конструкционных материалов резанием».

По дисциплине предусматривается проведение учебной практики по технологии конструкционных материалов (в учебно-производственных мастерских УО БГСХА) продолжительностью 1 неделя.

Цель учебной дисциплины – подготовка будущего инженера со знаниями строения и свойств конструкционных материалов, физико-химических основ процессов изготовления заготовок и деталей методами литья, обработки давлением, резанием и сваркой, способов их упрочнения термической обработкой, наплавкой и напылением.

Задачи учебной дисциплины – изучение:

- строения и свойств металлов и сплавов;
- основ металлургических процессов производства чугуна, стали и цветных металлов;
- основ теории и практики термической обработки;
- технологии получения отливок различными методами литья;
- получения заготовок или деталей обработкой давлением;
- процессов получения неразъемных соединений различными методами сварки и пайки;
- основ упрочнения и восстановления деталей наплавкой и напылением;
- процессов резания металлов и сплавов, оборудования, режущего инструмента;
- основ технологии машиностроения.

Учебная дисциплина относится к модулю 1.7 «Материаловедение и технология конструкционных материалов» государственного компонента.

При изучении учебной дисциплины «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов» у студентов должна быть сформирована базовая профессиональная компетенция (БПК-10): быть способным обоснованно выбирать материал и способы его обработки для получения свойств, обеспечивающих высокую надежность детали.

В результате изучения учебной дисциплины студенты должны знать строение, свойства и маркировку конструкционных материалов, быть способными использовать методы термической обработки, получения заготовок или деталей обработкой давлением, получения неразъемных соединений методами сварки и пайки, упрочнения и восстановления деталей наплавкой и напылением, резания металлов и сплавов на металлорежущих станках, проектировать технологические процессы обработки деталей.

Знания, полученные при изучении учебной дисциплины будут использованы в дальнейшем для изучения учебных дисциплин: «Тракторы и автомобили», «Машины для земляных работ», «Мелиоративные машины», «Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов», «Сельскохозяйственные машины», «Детали машин и основы

конструирования», «Подъемно-транспортные машины», «Ремонт мелиоративных и строительных машин», при выполнении курсовых работ и проектов, дипломного проекта.

Общее количество часов и количество аудиторных часов, отводимое на изучение учебной дисциплины.

Форма получения высшего образования – дневная.

На изучение учебной дисциплины согласно учебному плану по специальности 1-74 06 04 «Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ» дневной формы получения высшего образования, всего отводится 244 часа (трудоемкость изучаемой дисциплины составляет 6 зачетных единиц), в том числе 126 часов аудиторных, из них лекции – 54 часа, лабораторные занятия – 72 часа. На самостоятельную работу отводится 118 часов. Учебная дисциплина преподается на 1 курсе в 1 и 2 семестрах. Рекомендуемая форма текущей аттестации – экзамен (1 семестр) и зачет (2 семестр).

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 ТЕМАТИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ ЧТЕНИЯ ЛЕКЦИЙ

Тематический план чтения лекций по учебной дисциплине «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»

Номер темы	Наименование разделов, тем.	Количество часов
1	Материаловедение	20
1.1	Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов. Теория сплавов	5
1.2	Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны	4
1.3	Основы теории и технологии термической обработки	5
1.4	Инструментальные материалы Цветные металлы и сплавы	3
1.5	Порошковые и неметаллические материалы	3
2	Горячая обработка	16
2.1	Основы металлургии и литейное производство	6
2.2	Обработка металлов давлением	4
2.3	Сварочное производство	6
3	Обработка конструкционных материалов резанием	18
3.1	Сущность процесса резания и его основные элементы (на примере токарной обработки)	8
3.2	Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация	8
3.3	Основы технологии машиностроения	2
	ВСЕГО	54

1.2 ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

РАЗДЕЛ I МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Материаловедение – это наука о взаимосвязи электронного строения, структуры материалов с их составом, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Создание научных основ металловедения по праву принадлежит Чернову Д.К., который установил критические температуры фазовых превращений в сталях и их связь с количеством углерода в сталях. Открытием аллотропических превращений в стали, Чернов заложил фундамент термической обработки стали. Критические точки в стали, позволили рационально выбирать температуру ее закалки, отпуска и пластической деформации в производственных условиях. В своих работах по кристаллизации стали, и строению слитка Чернов изложил основные положения теории литья, не утратившие своего научного и практического значения в настоящее время.

Великий русский металлург Аносов П.П. впервые применил микроскоп для исследования структуры металлов. Ему принадлежит приоритет в создании легированных сталей.

В 1873-1876 гг. Гиббс изложил основные законы фазового равновесия и, в частности, правило фаз, основываясь на законах термодинамики. Для решения практических задач знание фазового равновесия в той или иной системе необходимо, но не достаточно для определения состава и относительного количества фаз. Обязательно знать структуру сплавов, то есть атомное строение фаз, составляющих сплав, а также распределение, размер и форму кристаллов каждой фазы.

Определение атомного строения фаз стало возможным после открытия Лауэ (1912 г), показавшего, что атомы в кристалле регулярно заполняют пространство, образуя пространственную дифракционную решетку, и что рентгеновские лучи имеют волновую природу. Дифракция рентгеновских лучей на такой решетке дает возможность исследовать строение кристаллов.

В последнее время для структурного анализа, кроме рентгеновских лучей, используют электроны и нейтроны. Соответствующие методы исследования называются электронографией и нейтронографией. Электронная оптика позволила усовершенствовать микроскопию. В настоящее время на электронных микроскопах полезное максимальное увеличение доведено до 100000 раз.

В пятидесятых годах, когда началось исследование природы свойств металлических материалов, было показано, что большинство наиболее важных свойств, в том числе сопротивление пластической деформации и разрушению в различных условиях нагружения, зависит от особенностей тонкого кристаллического строения. Этот вывод способствовал привлечению физических теорий о строении реальных металлов для объяснения многих непонятных явлений и для конструирования сплавов с заданными механическими свойствами. Благодаря теории дислокаций, удалось получить достоверные сведения об изменениях в металлах при их пластической деформации.

Особенно интенсивно развивается материаловедение в последние десятилетия. Это объясняется потребностью в новых материалах для исследования космоса, развития электроники, атомной энергетики.

Основными направлениями в развитии металловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты, с которыми преимущественно работают. Генеральной задачей материаловедения является создание материалов с заранее рассчитанными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление).

ТЕМА 1

АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. ТЕОРИЯ СПЛАВОВ

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определенным набором свойств: «металлический блеск» (хорошая отражательная способность); пластичность; высокая теплопроводность; высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитам вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объему металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов. Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решетка. Другими словами, кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл. Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

- размеры ребер элементарной ячейки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными.
- углы между осями.
- координационное число указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.
- базис решетки – количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.
- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74).

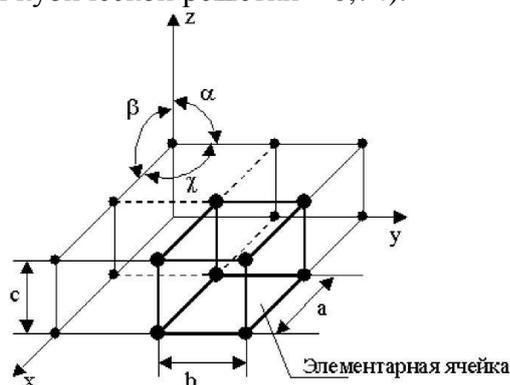


Рис. 1.1. Схема кристаллической решетки

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа:

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;

- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

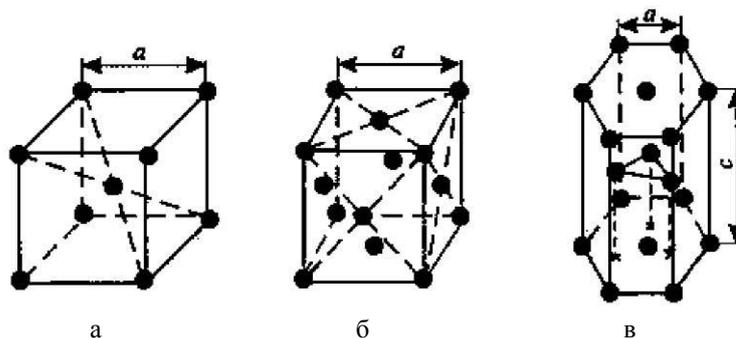


Рис. 1.2. Основные типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная кубическая; б – гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная

Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно-центрированная кубическая (ОЦК) (рис. 1.2 а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe_α)
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (рис. 1.2 б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из шести граней (Ag, Au, Fe_β)
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
 - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру двух оснований (углерод в виде графита);
 - плотноупакованная (ГПУ) – имеется три дополнительных атома в средней плоскости (цинк).

Понятие об изотропии и анизотропии.

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковыми, то есть аморфные тела изотропны. В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется анизотропией.

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле. Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографической плоскостью. Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографическим направлением.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются индексами Миллера. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

Для определения индексов кристаллографической кристаллографической плоскости необходимо: установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки; взять обратные значения этих величин; привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рис. 1.3 а.

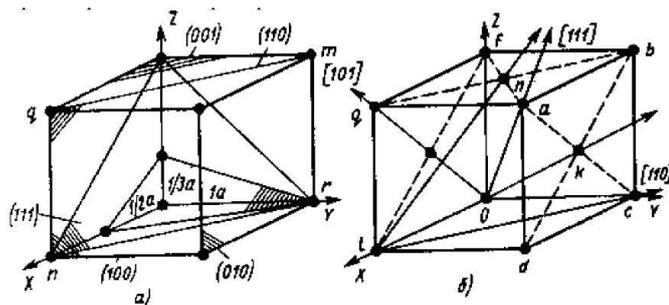


Рис. 1.3. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)

Другими словами, индекс по оси показывает, на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110).

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо: одну точку направления совместить с началом координат; установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки; привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел. Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках [111]. В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы [hkl].

Аллотропия или полиморфные превращения.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется аллотропией или полиморфизмом. Каждый вид решетки представляет собой аллотропическое видоизменение или модификацию.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

$$\begin{aligned}
 t < 911^\circ\text{C} & - \text{ОЦК} - \text{Fe}_\alpha; \\
 911^\circ\text{C} < t < 1392^\circ\text{C} & - \text{ГЦК} - \text{Fe}_\beta; \\
 1392^\circ\text{C} < t < 1539^\circ\text{C} & - \text{ОЦК} - \text{Fe}_\delta \text{ (высокотемпературное Fe}_\alpha\text{)}
 \end{aligned}$$

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

Магнитные превращения.

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают. Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками.

Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения.

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют неправильную форму и различно ориентированы в пространстве.

Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдается.

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

Точечные дефекты. Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей (рис. 1.4).

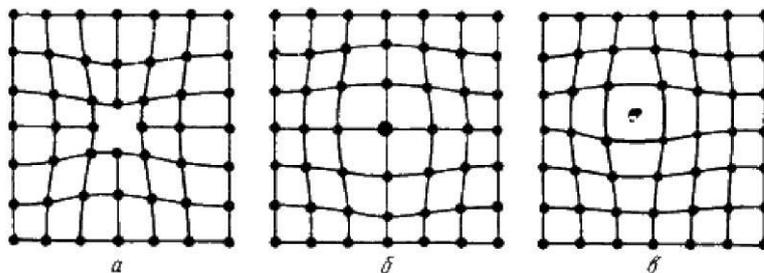


Рис.1.4. Точечные дефекты: а – вакансия; б – дислоцированный атом; в – примесный атом

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронное облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты. Основными линейными дефектами являются дислокации. Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орована и Тейлером при исследовании пластической деформации кристаллических материалов, для объяснения большой разницы между практической и теоретической прочностью металла.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей. Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край «лишней» полуплоскости (рис. 1.5) Неполная плоскость называется экстраплоскостью.

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD,

сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном АВ, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза внизу.

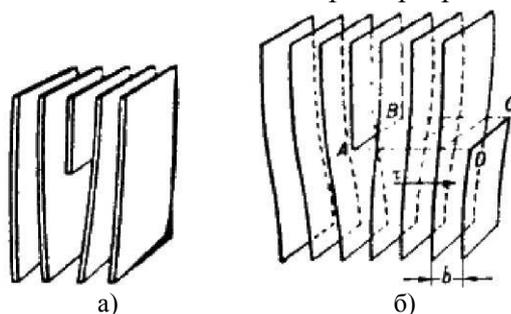


Рис. 1.5. Краевая дислокация (а) и механизм ее образования (б)

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть тысячи периодов решетки (рис. 1.6).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная (\perp), если в нижней, то – отрицательная (∇). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

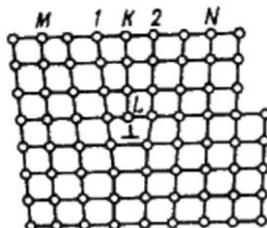


Рис. 1.6. Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название винтовая дислокация. Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рис. 1.7).

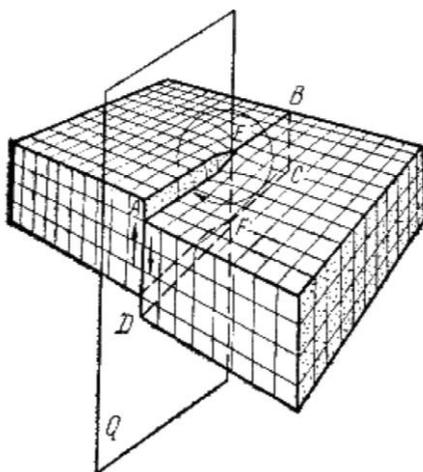


Рис. 1.7. Механизм образования винтовой дислокации

На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки Е до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов. Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется

поворотом по часовой стрелке, то дислокация правая, а если поворотом против часовой стрелки – левая.

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают. В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла. Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется плотностью дислокаций.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3 (см^{-2} ; м^{-2}). Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет $105 \dots 107 \text{ м}^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$. Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала.

Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной $0,5 \dots 20$ мкм с прочностью, близкой к теоретической: для железа – 13000 МПа, для меди – 30000 МПа. При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$. В противном случае образуются трещины.

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки. При перемещении вакансий внутри кристалла, они концентрируются, образуя полости в виде дисков. Если такие диски велики, то энергетически выгодно «захлопывание» их с образованием по краю диска краевой дислокации. Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.

Поверхностные дефекты – границы зерен, фрагментов и блоков (рис. 1.8). Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов.

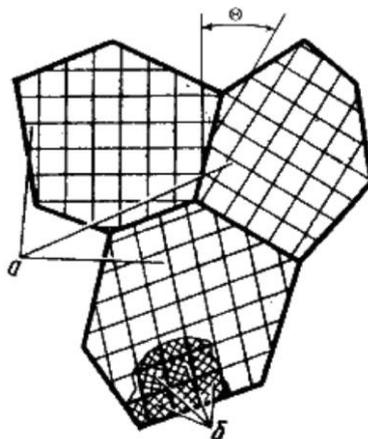


Рис. 1.8. Разориентация зерен и блоков в металле

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5...10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов. Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов. Эти участки называются фрагментами. Процесс деления зерен на фрагменты называется фрагментацией или полигонизацией.

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10 мкм, разориентированных на угол менее одного градуса. Такую структуру называют блочной или мозаичной.

Кристаллизации металлов.

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 1.9.

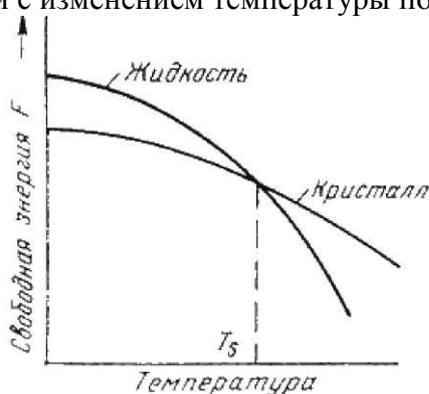


Рис.1.9. Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры T_S вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_S – в твердом. При температуре равной T_S жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура T_S – равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_S . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением, которое характеризуется степенью переохлаждения. Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 1.10.

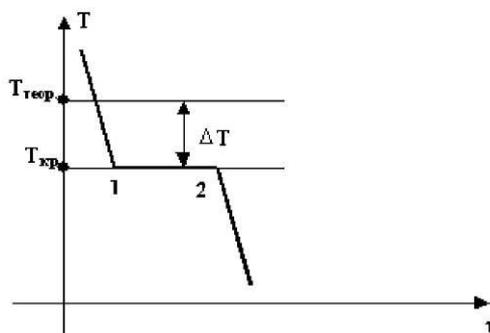


Рис.1.10. Кривая охлаждения чистого металла: $T_{\text{теор}}$ – теоретическая температура кристаллизации; $T_{\text{кр}}$ – фактическая температура кристаллизации.

Процесс кристаллизации чистого металла происходит следующим образом. До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры.

На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется скрытой теплотой кристаллизации. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной.

После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

Механизм и закономерности кристаллизации металлов.

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – центры кристаллизации или зародыши. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется. Минимальный размер способного к росту зародыша называется критическим размером, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

Механизм кристаллизации представлен на рис.1.11. Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

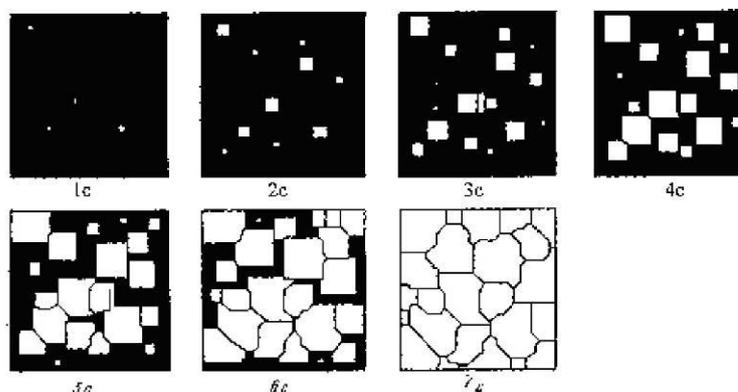


Рис. 1.11. Модель процесса кристаллизации

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться. Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров. Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации T_S число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей т.а., то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая). При переохладении до температуры соответствующей т.в. – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая). Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело.

Условия получения мелкозернистой структуры.

Оптимальными условиями для получения мелкозернистой структуры являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды. Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате модифицирования, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – модификаторы. По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.
2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осаждаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

Строение металлического слитка.

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис. 1.12.

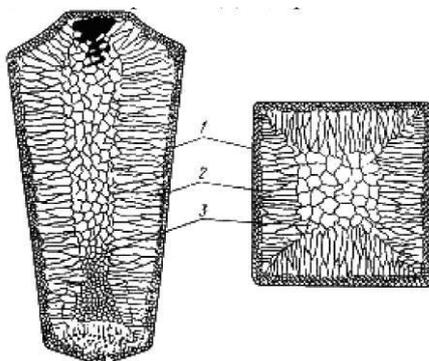


Рис. 1.12. Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

1. Мелкокристаллическая корковая зона;
2. Зона столбчатых кристаллов;
3. Внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохладения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 1.13). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

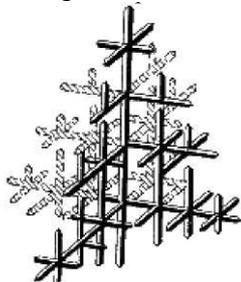


Рис. 1.13. Схема дендрита по Чернову Д.К.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется транскристаллизацией. Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

Методы исследования металлов.

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию обо всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Определение химического состава.

Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют спектральный анализ. Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом. Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов. Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает рентгеноспектральный анализ. Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

Изучение структуры.

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

1. Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы. Осуществляется после предварительной подготовки исследуемой поверхности (шлифование и травление специальными реактивами).

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катанных заготовок, а также причины разрушения деталей.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызван-

ную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; волокна в деформированном металле.

2. Микроструктурный анализ – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Образцы – микрошлифы с блестящей полированной поверхностью, так как структура рассматривается в отраженном свете. Наблюдаются микротрещины и неметаллические включения. Для выявления микроструктуры поверхность травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по разному. Можно выявить форму, размеры и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие.

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью. Изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Электронные лучи с длиной волны $(0,04...0,12) \cdot 10^{-8}$ см дают возможность различать детали объекта, по своим размерам соответствующе межатомным расстояниям.

В просвечивающих микроскопах поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают косвенные и прямые методы исследования.

При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину.

При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла.

В растровых микроскопах изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

3. Для изучения атомно-кристаллического строения твердых тел (тонкое строение) используются рентгенографические методы, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций.

Физические методы исследования.

1. Термический анализ основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2. Дилатометрический метод. При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы. Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

3. Магнитный анализ. Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

Понятие о сплавах и методах их получения.

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны другие способы приготовления сплавов: спекания, электролиз, возгонка. В этом случае вещества называются псевдосплавами.

Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.

Основные понятия в теории сплавов.

Система – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе. Если вариантность $C = 1$ (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз. Если вариантность $C = 0$ (инвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе.

Существует математическая связь между числом компонентов (К), числом фаз (Ф) и вариантностью системы (С). Это правило фаз или закон Гиббса.

$$C = K - \Phi + 2$$

Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится

$$C = K - \Phi + 1$$

где: С – число степеней свободы, К – число компонентов, Ф – число фаз, 1 – учитывает возможность изменения температуры.

Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов.

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы:

1. механические смеси;
2. химические соединения;
3. твердые растворы.

Сплавы механические смеси образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.

Образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, когда сила взаимодействия между однородными атомами больше чем между разнородными. Сплав состоит из кристаллов входящих в него компонентов (рис. 1.14). В сплавах сохраняются кристаллические решетки компонентов.

Сплавы химические соединения образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

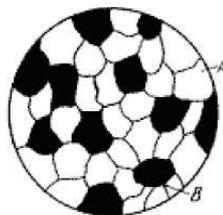


Рис. 1.14. Схема микроструктуры механической смеси

Особенности этих сплавов:

1. Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается $A_n B_m$.
2. Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов (рис. 1.15)
3. Ярко выраженные индивидуальные свойства
4. Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов

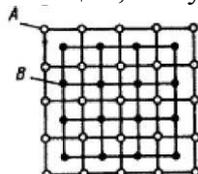


Рис. 1.15. Кристаллическая решетка химического соединения

Сплавы твердые растворы – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами. Характерной особенностью твердых растворов является наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя. Твердый раствор состоит из однородных зерен (рис. 1.16).

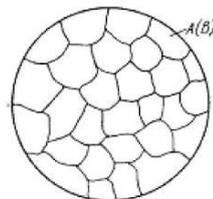


Рис. 1.16. Схема микроструктуры твердого раствора

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы: с неограниченной растворимостью компонентов; с ограниченной растворимостью компонентов.

При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

1. изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
2. близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %.
3. близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела, При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы: замещения; внедрения; вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента (рис. 1.17 а). Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

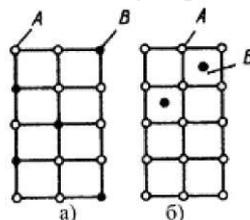


Рис. 1.17. Кристаллическая решетка твердых растворов замещения (а), внедрения (б)

При образовании растворов замещения периоды решетки изменяются в зависимости от разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя. Если атом растворенного элемента больше атома растворителя, то элементарные ячейки увеличиваются, если меньше – сокращаются. В первом приближении это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента. Изменение параметров решетки при образовании твердых растворов – важный момент, определяющий изменение свойств. Уменьшение параметра ведет к большему упрочнению, чем его увеличение.

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя (рис. 1.17 б).

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2...2,5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.

Кристаллизация сплавов.

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Необходимым условием является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

Основным отличием является большая роль диффузионных процессов, между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Эти процессы необходимы для перераспределения разнородных атомов, равномерно распределенных в жидкой фазе.

В сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры. Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации и происходит их рост. Обычно центры кристаллизации возникают по границам зерен старой фазы, где решетка имеет наиболее дефектное строение, и где имеются примеси, которые могут стать центрами новых кристаллов. У старой и новой фазы, в течение некоторого времени, имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной связью. В случае различия строения старой и новой фаз превращение протекает с образованием промежуточных фаз.

Нарушение когерентности и обособления кристаллов наступает, когда они приобретут определенные размеры. Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.

Диаграмма состояния.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры (рис. 1.18).

Диаграммы состояния показывают устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа. В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

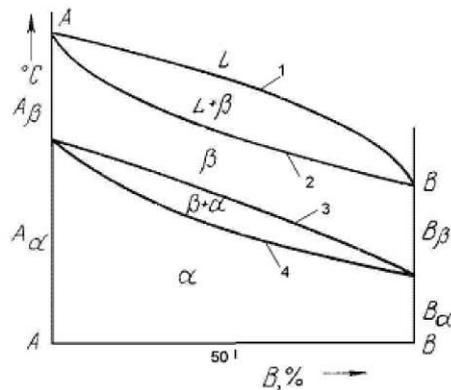


Рис. 1.18. Диаграмма состояния

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называют критическими точками. Некоторые критические точки имеют названия, например, точки отвечающие началу кристаллизации называют точками ликвидус, а концу кристаллизации – точками солидус.

По кривым охлаждения строят диаграмму состава в координатах: по оси абсцисс – концентрация компонентов, по оси ординат – температура.

Шкала концентраций показывает содержание компонента В. Основными линиями являются линии ликвидус (1) и солидус (2), а также линии соответствующие фазовым превращениям в твердом состоянии (3, 4).

По диаграмме состояния можно определить температуры фазовых превращений, изменение фазового состава, приблизительно, свойства сплава, виды обработки, которые можно применять для сплава.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью) и кривые охлаждения сплавов системы представлены на рис. 1.19.

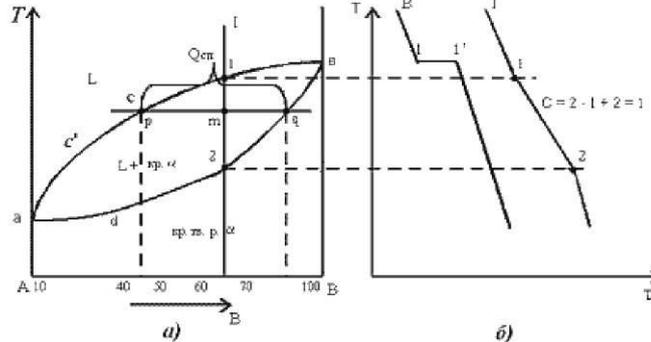


Рис.1.19. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Сначала получают термические кривые. Полученные точки переносят на диаграмму, соединив точки начала кристаллизации сплавов и точки конца кристаллизации, получают диаграмму состояния. Проведем анализ диаграммы.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В).
2. Число фаз: $f = 2$ (жидкая фаза L, кристаллы твердого раствора α)
3. Основные линии диаграммы:

- acb – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;
- adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.

4. Характерные сплавы системы:

Чистые компоненты А и В кристаллизуются при постоянной температуре, кривая охлаждения компонента В представлена на рис. 1.19 б. Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I, кривая охлаждения которого представлена на рис. 1.19 б.

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллиза-

ции твердого раствора α . На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов твердого раствора α) число степеней свободы будет равно единице ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α . Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 1.16.

Количественный структурно-фазовый анализ сплава.

Пользуясь диаграммой состояния можно для любого сплава при любой температуре определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение. Для этого используется правило отрезков. Для проведения количественного структурно-фазового анализа через заданную точку проводят горизонталь (коноду) до пересечения с ближайшими линиями диаграммы (ликвидус, солидус или оси компонентов).

а). Определение состава фаз в точке m :

Для его определения через точку m проводят горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы: ликвидус и солидус.

Состав жидкой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией ликвидус p на ось концентрации.

Состав твердой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией солидус q (или осью компонента) на ось концентрации.

Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса, а состав твердой фазы – по линии солидуса.

С понижением температуры состав фаз изменяется в сторону уменьшения содержания компонента B .

б). Определение количественного соотношения жидкой и твердой фазы при заданной температуре (в точке m):

Количественная масса фаз обратно пропорциональна отрезкам проведенной коноды. Рассмотрим проведенную через точку m коноду и ее отрезки.

Количество всего сплава ($Q_{\text{сп}}$) определяется отрезком pq .

Отрезок, прилегающий к линии ликвидус pm , определяет количество твердой фазы.

$$Q_{\text{тс}} = (pm/pq) \cdot 100\%$$

Отрезок, прилегающий к линии солидус (или к оси компонента) mq , определяет количество жидкой фазы.

$$Q_{\text{ж}} = (mq/pq) \cdot 100\%$$

Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси) и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 1.20.

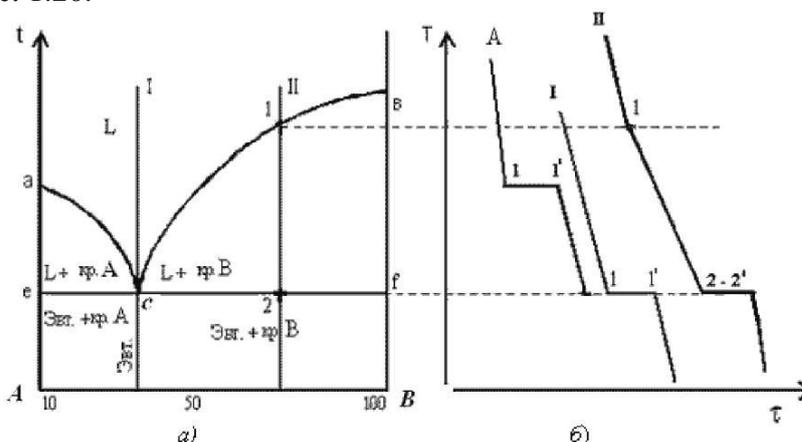


Рис. 1.20. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения сплавов (б)

Проведем анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, жидкая фаза).
3. Основные линии диаграммы:

- линия ликвидус $асб$, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;

- линия солидус $есф$, параллельна оси концентраций стремится к осям компонентов, но не достигает их;

4. Типовые сплавы системы.

а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, на рис 1.20 б показана кривая охлаждения компонента А.

б). Эвтектический сплав – сплав, соответствующий концентрации компонентов в точке с (сплав I). Кривая охлаждения этого сплава, аналогична кривым охлаждения чистых металлов (рис. 1.20 б). Эвтектика – мелкодисперсная механическая смесь разнородных кристаллов, кристаллизующихся одновременно при постоянной, самой низкой для рассматриваемой системы, температуре. При образовании сплавов механических смесей эвтектика состоит из кристаллов компонентов А и В: Эвт. (кр. А + кр. В)

Процесс кристаллизации эвтектического сплава: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинается одновременная кристаллизация двух разнородных компонентов. На кривой охлаждения отмечается температурная остановка, т.е. процесс идет при постоянной температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии трех фаз (жидкой и кристаллов компонентов А и В) число степеней свободы будет равно нулю ($C = 2 - 3 + 1 = 0$). В точке 1' процесс кристаллизации завершается. Ниже точки 1' охлаждается сплав, состоящий из дисперсных разнородных кристаллов компонентов А и В.

в) Другие сплавы системы аналогичны сплаву II, кривую охлаждения сплава (рис 1.20 б).

Процесс кристаллизации сплава II: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации избыточного компонента В. На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов компонента В) число степеней свободы будет равно единице ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При охлаждении состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус до эвтектического. На участке 2–2' кристаллизуется эвтектика (см. кристаллизацию эвтектического сплава). Ниже точки 2' охлаждается сплав, состоящий из кристаллов первоначально закристаллизовавшегося избыточного компонента В и эвтектики.

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 1.21.

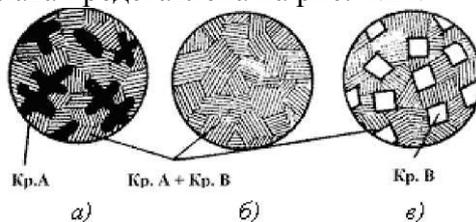


Рис. 1.21. Схема микроструктур сплавов:

а – доэвтектического, б – эвтектического, в – заэвтектического

5. При проведении количественного структурно-фазового анализа, конода, проведенная через заданную точку, пересекает линию ликвидус и оси компонентов, поэтому состав твердой фазы или 100 % компонента А, или 100 % компонента В.

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 1.22.

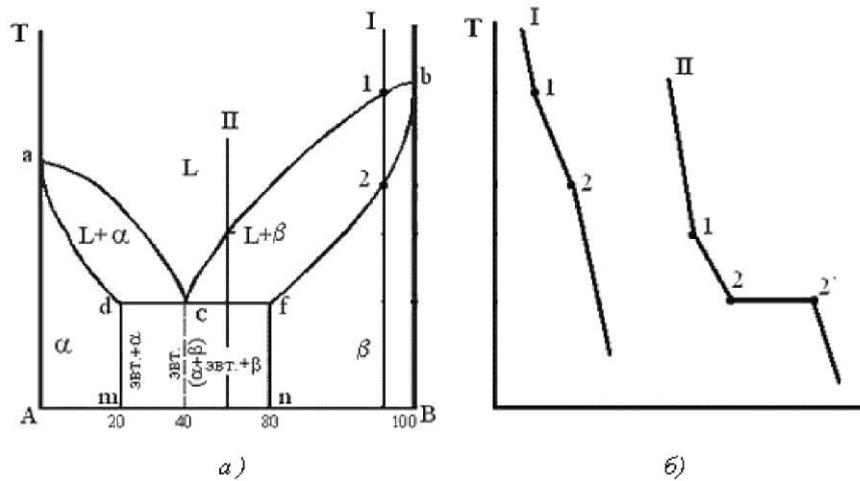


Рис. 1.22. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Проведем анализ диаграммы.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (жидкая фаза и кристаллы твердых растворов раствор α компонента В в компоненте А и раствор β компонента А в компоненте В);
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус acb , состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус $adcfb$, состоит из трех участков;
 - dm – линия предельной концентрации компонента В в компоненте А;
 - fn – линия предельной концентрации компонента А в компоненте В.
4. Типовые сплавы системы.

При концентрации компонентов, не превышающей предельных значений (на участках Am и nB), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам твердым растворам с неограниченной растворимостью, см кривую охлаждения сплава I на рис. 1.22 б. При концентрации компонентов, превышающей предельные значения (на участке dcf), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам механическим смесям, см. кривую охлаждения сплава II на рис. 1.22 б.

Сплав с концентрацией компонентов, соответствующей точке c , является эвтектическим сплавом. Сплав состоит из мелкодисперсных кристаллов твердых растворов α и β , эвт. (кр. тв. р-ра α + кр. тв. р-ра β). Кристаллы компонентов в чистом виде ни в одном из сплавов не присутствуют.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения представлена на рис. 1.23.

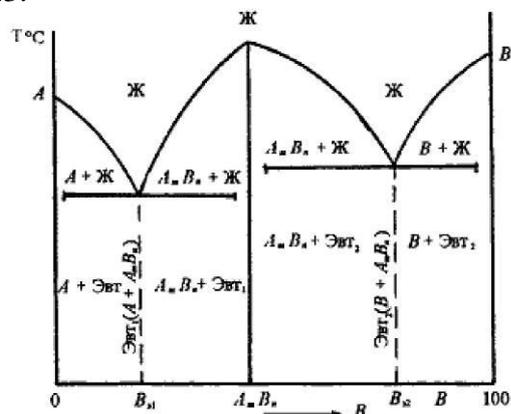


Рис. 1.23. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

Диаграмма состояния сложная, состоит из нескольких простых диаграмм. Число компонентов и количество диаграмм зависит от того, сколько химических соединений образуют

основные компоненты системы. Число фаз и вид простых диаграмм определяются характером взаимодействия между компонентами:

Эвт₁ (кр. A + кр. AmBn);

Эвт₂ (кр. B + кр. AmBn).

Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость) представлена на рис. 1.24.

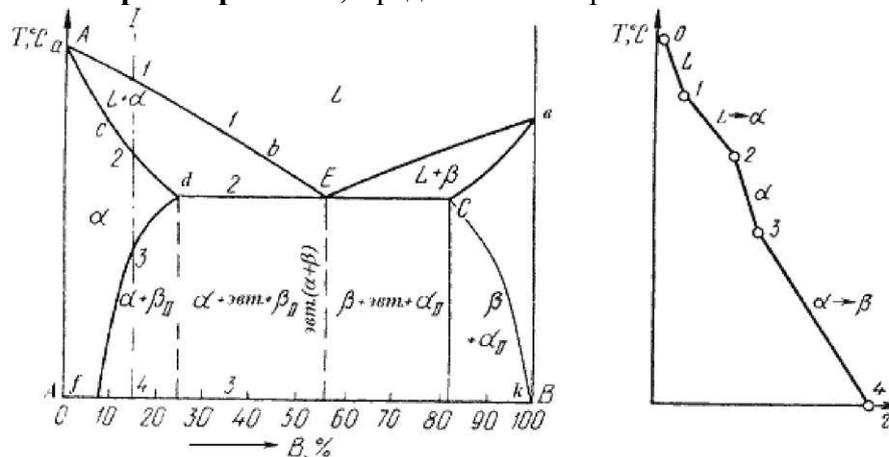


Рис. 1.24. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (а) и кривая охлаждения сплава (б)

По внешнему виду диаграмма похожа на диаграмму состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Отличие в том, что линии предельной растворимости компонентов не перпендикулярны оси концентрации. Появляются области, в которых из однородных твердых растворов при понижении температуры выделяются вторичные фазы.

На диаграмме:

- df – линия переменной предельной растворимости компонента В в компоненте А;

- ek – линия переменной предельной растворимости компонента А в компоненте В.

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре. При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α . При достижении температуры, соответствующей точке 3, твердый раствор α оказывается насыщенным компонентом В, при более низких температурах растворимость второго компонента уменьшается, поэтому из раствора α начинает выделяться избыточный компонент в виде кристаллов $\beta_{ц}$. За точкой 3 сплав состоит из двух фаз: кристаллов твердого раствора α и вторичных кристаллов твердого раствора $\beta_{ц}$.

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Так как вид диаграммы, также как и свойства сплава, зависит от того, какие соединения или какие фазы образовали компоненты сплава, то между ними должна существовать определенная связь. Эта зависимость установлена Курнаковым (рис. 1.25).

1. При образовании механических смесей свойства изменяются по линейному закону. Значения характеристик свойств сплава находятся в интервале между характеристиками чистых компонентов.

2. При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, например, электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.

3. При образовании твердых растворов с ограниченной растворимостью свойства в интервале концентраций, отвечающих однофазным твердым растворам, изменяются по криво-

линейному закону, а в двухфазной области – по линейному закону. Причем крайние точки на прямой являются свойствами чистых фаз, предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.

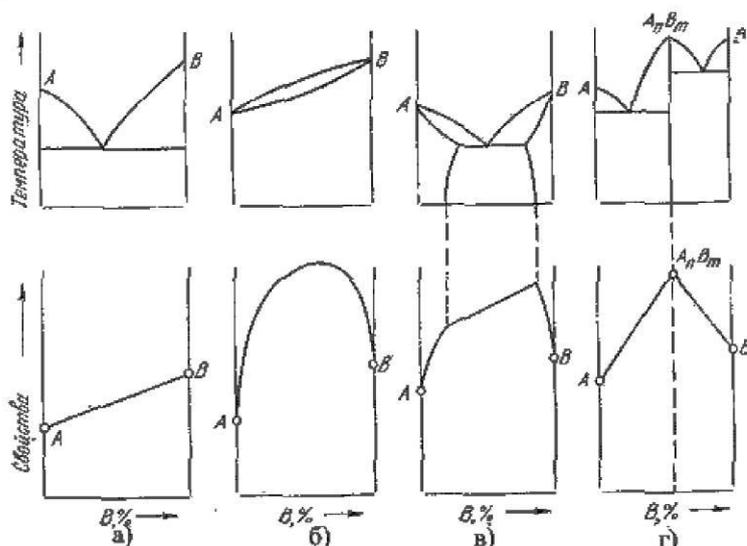


Рис. 1.25. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

4. При образовании химических соединений концентрация химического соединения отвечает максимуму на кривой. Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой.

Физическая природа деформации металлов.

Деформацией называется изменение формы и размеров тела под действием напряжений.

Напряжение – сила, действующая на единицу площади сечения детали.

Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате фазовых (структурных) превращений, усадки и других физико-химических процессов, протекающих в металлах, и связанных с изменением объема.

Металл, находящийся в напряженном состоянии, при любом виде нагружения всегда испытывает напряжения нормальные и касательные (рис. 1.26 а).

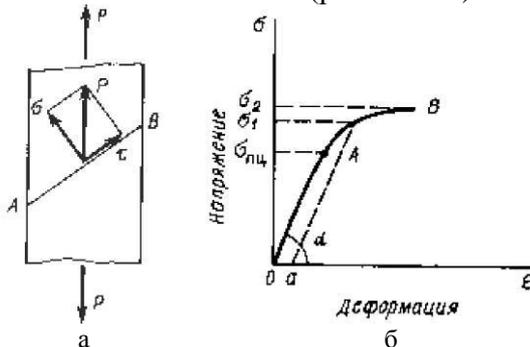


Рис. 1.26. Схема возникновения напряжений в металле а и диаграмма зависимости деформации металла от действующих напряжений б

Рост нормальных и касательных напряжений приводит к разным последствиям. Рост нормальных напряжений приводит к хрупкому разрушению. Пластическую деформацию вызывают касательные напряжения. Деформация металла под действием напряжений может быть упругой и пластической.

Упругой называется деформация, полностью исчезающая после снятия вызывающих ее напряжений. При упругом деформировании изменяются расстояния между атомами металла в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение

межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места, и деформация исчезает. Упругая деформация на диаграмме деформации характеризуется линией ОА (рис. 1.26 б).

Если нормальные напряжения достигают значения сил межатомных связей, то наблюдается хрупкое разрушение путем отрыва (рис. 1.27)

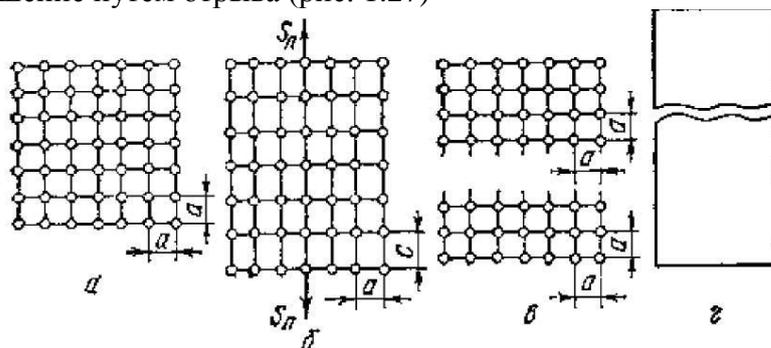


Рис. 1.27. Схема упругой деформации и хрупкого разрушения под действием упругих напряжений
а – ненапряженная решетка металла; б – упругая деформация; в, г – хрупкое разрушение в результате отрыва

Зависимость между упругой деформацией ϵ и напряжением σ выражается законом Гука

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

где: E – модуль упругости.

Модуль упругости является важнейшей характеристикой упругих свойств металла. По физической природе величина модуля упругости рассматривается как мера прочности связей между атомами в твердом теле. Эта механическая характеристика структурно нечувствительна, т. е. термическая обработка или другие способы изменения структуры не изменяют модуля упругости, а повышение температуры, изменяющее межатомные расстояния, снижает модуль упругости.

Пластической или остаточной называется деформация после прекращения действия вызвавших ее напряжений. При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой под действием касательных напряжений. При снятии нагрузок сдвиг остается, т.е. происходит пластическая деформация (рис. 1.28). В результате развития пластической деформации может произойти вязкое разрушение путем сдвига.

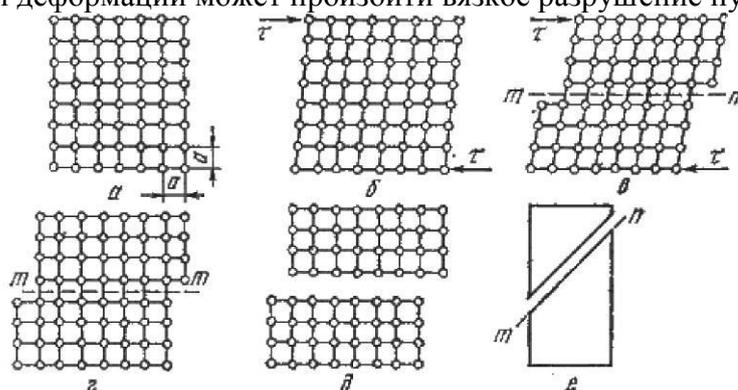


Рис. 1.28. Схема пластической деформации и вязкого разрушения под действием касательных напряжений а – ненапряженная решетка; б – упругая деформация; в – упругая и пластическая деформация; г – пластическая деформация; д, е – пластическое (вязкое) разрушение в результате сдвига

Природа пластической деформации.

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, и характер их деформации зависит от типа кристаллической структуры и от наличия несовершенств в этой структуре. Рассмотрим пластическую деформацию в монокристалле.

Пластическая деформация может протекать под действием касательных напряжений и может осуществляться двумя способами.

1. Трансляционное скольжение по плоскостям (рис. 1.29 а). Одни слои атомов кристалла скользят по другим слоям, причем они перемещаются на дискретную величину, равную целому числу межатомных расстояний.

В промежутках между полосами скольжения деформация не происходит. Твердое тело не изменяет своего кристаллического строения во время пластической деформации и расположение атомов в элементарных ячейках сохраняется. Плоскостями скольжения являются кристаллографические плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов. Это наиболее характерный вид деформации при обработке давлением.

2. Двойникование – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (рис. 1.29 б).

Двойникование чаще возникает при пластической деформации кристаллов с объемно-центрированной и гексагональной решеткой, причем с повышением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию возрастает. Двойникование может возникать не только в результате действия внешних сил, но и в результате отжига пластически деформированного тела. Это характерно для металлов с гранецентрированной кубической решеткой (медь, латунь). Двойникованием можно достичь незначительной степени деформации.



Рис. 1.29. Схемы пластической деформации различными способами:
а – скольжением; б – двойникованием

Дислокационный механизм пластической деформации.

Ранее предполагали, что при скольжении одна часть кристалла сдвигается относительно другой части на целое число периодов как единое целое. Необходимое для этого напряжение получается на несколько порядков выше действительного сдвигового напряжения.

В основу современной теории пластической деформации взяты следующие положения:

- скольжение распространяется по плоскости сдвига последовательно, а не одновременно;
- скольжение начинается от мест нарушений кристаллической решетки, которые возникают в кристалле при его нагружении.

Схема механизма деформации представлена на рис. 1.30 а.

В равновесном состоянии дислокация неподвижна. Под действием напряжения экстраплоскость смещается справа налево при незначительном перемещении атомов. Нижняя часть плоскости P/S (SR) сместится вправо и совместится с нижним краем экстраплоскости PQ. QR – остаточная деформация.

При дальнейшем движении дислокация пройдет всю плоскость скольжения и выйдет на поверхность зерна. При этом верхняя часть зерна сдвинута относительно нижней на один межатомный период решетки (рис. 1.30 б).

При каждом перемещении дислокации на один шаг необходимо разорвать связь только между двумя рядами атомов в плоскости P/S, а не между всеми атомами, расположенными выше и ниже плоскости скольжения. Необходимое сдвиговое напряжение при этом мало, равно практически действительному.

Разрушение металлов.

Процесс деформации при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Тела разрушаются по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин. Разрушение

включает три стадии: зарождение трещины, ее распространение через сечение, окончательное разрушение.

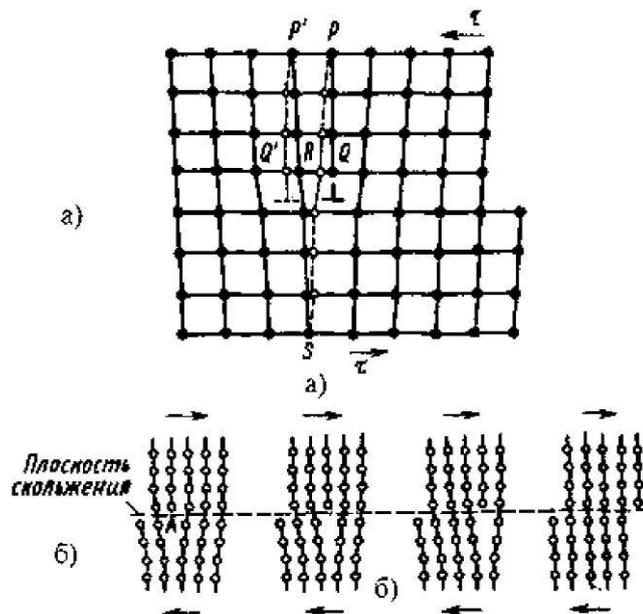


Рис. 1.30. Схема дислокационного механизма пластической деформации
 а – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние;
 б – перемещение дислокации через весь кристалл

Различают *хрупкое разрушение* – отрыв одних слоев атомов от других под действием нормальных растягивающих напряжений. Отрыв не сопровождается предварительной деформацией. Механизм зарождения трещины одинаков – благодаря скоплению движущихся дислокаций перед препятствием (границы субзерен, фазовые границы), что приводит к концентрации напряжений, достаточной для образования трещины. Когда напряжения достигают определенного значения, размер трещины становится критическим и дальнейший рост осуществляется произвольно.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Величина зоны пластической деформации в устье трещины мала. Скорость распространения хрупкой трещины велика - близка к скорости звука (внезапное, катастрофическое разрушение). Энергоемкость хрупкого разрушения мала, а работа распространения трещины близка к нулю. Различают транскристаллитное разрушение – трещина распространяется по телу зерна, инткристаллитное – по границам зерен (всегда хрупкое).

Результатом хрупкого разрушения является блестящий светлый кристаллический излом с ручьистым строением. Хрупкая трещина распространяется по нескольким параллельным плоскостям. Плоскость излома перпендикулярна нормальным напряжениям.

Вязкое разрушение – путем среза под действием касательных напряжений. Ему всегда предшествует значительная пластическая деформация.

Трещина тупая раскрывающаяся. Величина пластической зоны впереди трещины велика. Малая скорость распространения трещины. Энергоемкость значительная, энергия расходуется на образование поверхностей раздела и на пластическую деформацию. Большая работа затрачивается на распространение трещины. Поверхность излома негладкая, рассеивает световые лучи, матовая (волоконистый) излом. Плоскость излома располагается под углом. По излому можно определить характер разрушения.

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик.

Основными механическими свойствами являются прочность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность конструкций при их минимальной массе.

Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

1. статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
2. динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
3. повторно, переменном или циклическим нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности. Прочность – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению. Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца Δl (мм) от действующей нагрузки P . Для получения данных по механическим свойствам перестраивают: зависимость относительного удлинения от напряжения

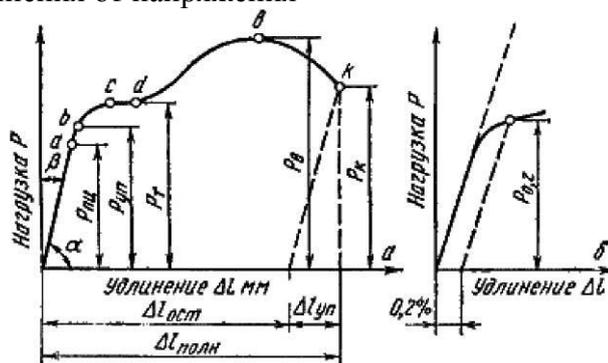


Рис. 1.31. Диаграмма растяжения: а – абсолютная, б – относительная; в – схема определения условного предела текучести

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца при увеличении нагрузки.

Участок oa на диаграмме соответствует упругой деформации материала, когда соблюдается закон Гука. Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке a, называется пределом пропорциональности.

Предел пропорциональности ($\sigma_{пц}$) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением.

$$\sigma_{пц} = P_{пц} / F_0$$

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения). Каждому напряжению соответствует остаточное удлинение, которое получаем проведением из соответствующей точки диаграммы растяжения линии параллельной oa.

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают условный предел упругости – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005...0,05%).

В обозначении указывается значение остаточной деформации $\sigma_{0,05}$.

$$\sigma_{0,05} = P_{0,05} / F_0$$

Предел текучести характеризует сопротивление материала небольшим пластическим деформациям. В зависимости от природы материала используют физический или условный предел текучести. Физический предел текучести σ_T – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие горизонтальной площадки на диаграмме растяжения). Используется для очень пластичных материалов.

$$\sigma_T = P_T / F_0$$

Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести. Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ – это напряжение вызывающее остаточную деформацию 0,2 %.

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0$$

Физический или условный предел текучести являются важными расчетными характеристиками материала. Действующие в детали напряжения должны быть ниже предела текучести.

Равномерная по всему объему пластичная деформация продолжается до значения предела прочности. В точке *в* в наиболее слабом месте начинает образовываться шейка – сильное местное утомление образца.

Предел прочности σ_B – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).

$$\sigma_B = P_B / F_0$$

Образование шейки характерно для пластичных материалов, которые имеют диаграмму растяжения с максимумом. Предел прочности характеризует прочность как сопротивления значительной равномерной пластичной деформации. За точкой В, вследствие развития шейки, нагрузка падает и в точке С происходит разрушение.

Истинное сопротивление разрушению – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца (рис. 1.32).

$$S_K = P_K / F_K$$

где F_K – конечная площадь поперечного сечения образца.

Истинное сопротивление разрушению значительно больше предела прочности, так как оно определяется относительно конечной площади поперечного сечения образца. Истинные напряжения определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения в данный момент времени.

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности. Пластичность – способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности. Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики пластичности: относительное удлинение и относительное сужение. Относительное сужение более точно характеризует пластичность и служит технологической характеристикой при листовой штамповке.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.

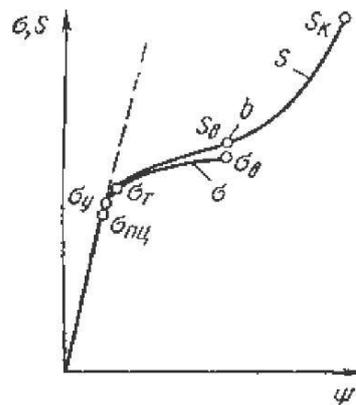


Рис. 1.32. Истинная диаграмма растяжения

Механические свойства материала.

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании. Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы. Это неразрушающий метод контроля. Основной метод оценки качества термической обработки изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. Наибольшее распро-

странение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рис. 1.33.

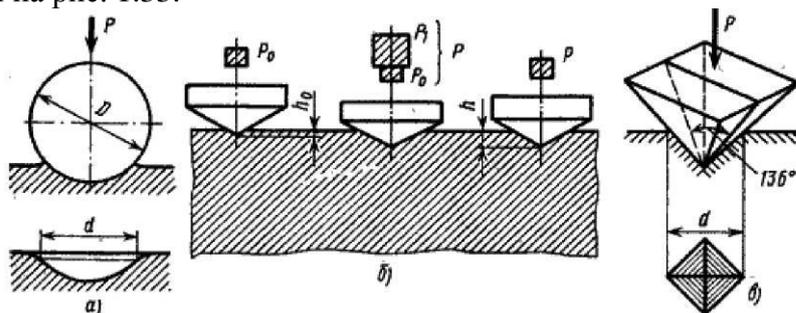


Рис. 1.33. Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012). Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.1.33 а). В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка P , в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна – $P = 30 D^2$, литой бронзы и латуни – $P = 10 D^2$, алюминия и других очень мягких металлов – $P = 2,5 D^2$. Продолжительность выдержки τ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с. Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля. Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс; $\tau = 10$ с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB $D / P / \tau$, HB 5/ 250 /30 – 80.

Метод Роквелла ГОСТ 9013. Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 1.33 б). Индентор для мягких материалов (до HB 230) – стальной шарик диаметром 1/16” (1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P_0 (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P_2 . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P_0 . В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 7.1)

Таблица 1.1. Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P_0	P_1	P_2	
A	HRA	Алмазный конус<1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик Ø1/16”	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус<1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

Метод Виккерса. Твердость определяется по величине отпечатка (рис. 1.33 в). В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°. Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка P составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании P составляют 5...500 гс

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Метод царапания.

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала. Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

Динамический метод (по Шору). Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал. В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации. Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами. Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

С повышением температуры вязкость увеличивается (рис. 1.34).

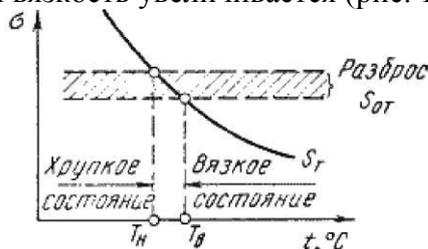


Рис. 1.34. Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние

Предел текучести S_T существенно изменяется с изменением температуры, а сопротивление отрыву S_{OT} не зависит от температуры. При температуре выше T_B предел текучести меньше сопротивления отрыву. При нагружении сначала имеет место пластическое деформирование, а потом – разрушение. Металл находится в вязком состоянии.

При температуре ниже T_H сопротивление отрыву меньше предела текучести. В этом случае металл разрушается без предварительной деформации, то есть находится в хрупком состоянии. Переход из вязкого состояния в хрупкое осуществляется в интервале температур

Хладоломкостью называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры. Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

Способы оценки вязкости.

Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению. Испытание проводят на образцах с надрезами определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту (рис. 1.35).

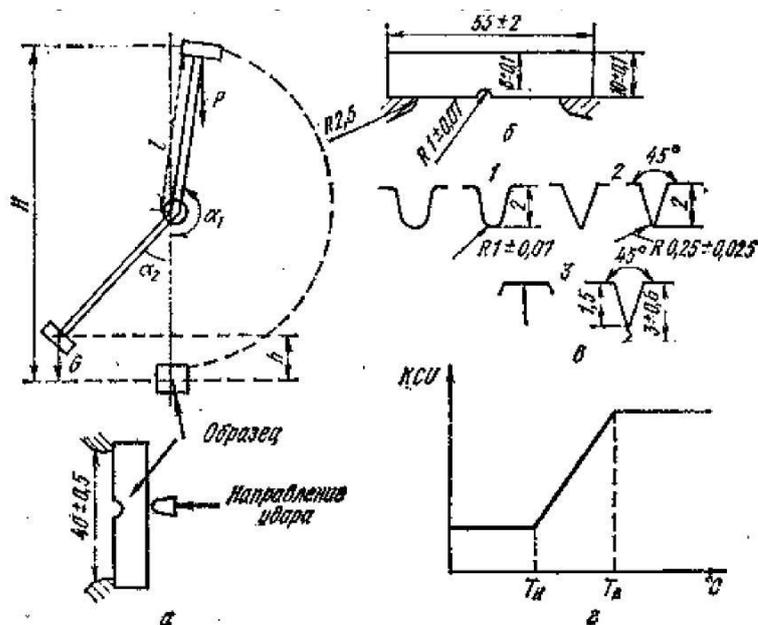


Рис. 1.35. Схема испытания на ударную вязкость: а – схема маятникового копра; б – стандартный образец с надрезом; в – виды концентраторов напряжений; г – зависимость вязкости от температуры

На разрушение образца затрачивается работа: $A = P(H - h)$, где P – вес маятника, H – высота подъема маятника до удара, h – высота подъема маятника после удара.

Характеристикой вязкости является ударная вязкость (a_n) – удельная работа разрушения $a_n = A / F_0$, где F_0 – площадь поперечного сечения в месте надреза.

ГОСТ 9454–78 ударную вязкость обозначает KCV. KCU. KCT. KC – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (T) (рис. 1.35 в)

При вязком состоянии металла в изломе более 90 % волокон, за верхний порог хладоломкости T_v принимается температура, обеспечивающая такое состояние. При хрупком состоянии металла в изломе 10 % волокон, за нижний порог хладоломкости T_n принимается температура, обеспечивающая такое состояние. В технике за порог хладоломкости принимают температуру, при которой в изломе 50 % вязкой составляющей. Причем эта температура должна быть ниже температуры эксплуатации изделий не менее чем на 40°C.

Испытания на выносливость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности. Усталость – разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

Усталостная прочность – способность материала сопротивляться усталости.

Процесс усталости состоит из трех этапов:

- 1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась микродеформациям и получила максимальное упрочнение;
- 2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность;
- 3 – окончательное разрушение, зона «долома», живое сечение уменьшается, а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое.

Характеристики усталостной прочности определяются при циклических испытаниях «изгиб при вращении». Схема представлена на рис. 1.36.

Основные характеристики усталостной прочности:

Предел выносливости (при симметричном изменении нагрузки и при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения N .

Ограниченный предел выносливости – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

Живучесть – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

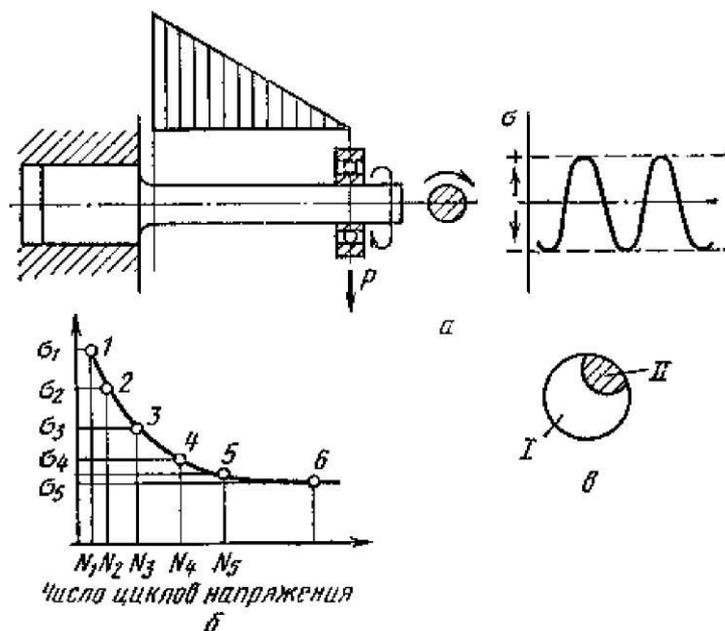


Рис. 1.36. Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)

Технологические свойства материала.

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

1. Литейные свойства. Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

- жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

- усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

- ликвация – неоднородность химического состава по объему.

2. Способность материала к обработке давлением. Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь. Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб. Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

3. Свариваемость. Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

4. Способность к обработке резанием. Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства.

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. Износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

2. Коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

3. Жаростойкость – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

4. Жаропрочность – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

5. Хладостойкость – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

6. Антифрикционность – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий. При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Конструкционная прочность материалов.

В результате испытаний получают характеристики:

- силовые (предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, предел выносливости);

- деформационные (относительное удлинение, относительное сужение);

- энергетические (ударная вязкость).

Все они характеризуют общую прочность материала независимо от назначения, конструкции и условий эксплуатации. Высокое качество детали может быть достигнуто только при учете всех особенностей, которые имеют место в процессе работы детали, и которые определяют ее конструкционную прочность.

Конструкционная прочность – комплекс прочностных свойств, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данного изделия, обеспечивают длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации.

На конструкционную прочность влияют следующие факторы: конструкционные особенности детали (форма и размеры); механизмы различных видов разрушения детали; состояние материала в поверхностном слое детали; процессы, происходящие в поверхностном слое детали, приводящие к отказам при работе.

Необходимым условием создания качественных конструкций при экономном использовании материала является учет дополнительных критериев, влияющих на конструкционную прочность. Этими критериями являются надежность и долговечность.

Надежность – свойство изделий, выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени или сопротивление материала хрупкому разрушению. Развитие хрупкого разрушения происходит при низких температурах, при наличии трещин, при повышенных остаточных напряжениях, а также при развитии усталостных процессов и коррозии.

Критериями, определяющими надежность, являются температурные пороги хладоломкости, сопротивление распространению трещин, ударная вязкость, характеристики пластичности, живучесть.

Долговечность – способность детали сохранять работоспособность до определенного состояния. Долговечность определяется усталостью металла, процессами износа, коррозии и другими, которые вызывают постепенное разрушение и не влекут аварийных последствий, то есть условиями работы. Критериями, определяющими долговечность, являются усталостная прочность, износостойкость, сопротивление коррозии, контактная прочность.

Общими принципами выбора критериев для оценки конструкционной прочности являются: аналогия вида напряженного состояния в испытываемых образцах и изделиях; аналогия условий испытания образцов и условий эксплуатации (температура, среда, порядок нагружения; аналогия характера разрушения и вида излома в образце и изделии.

Особенности деформации поликристаллических тел.

Рассмотрим холодную пластическую деформацию поликристалла. Пластическая деформация металлов и сплавов как тел поликристаллических, имеет некоторые особенности по сравнению с пластической деформацией монокристалла.

Деформация поликристаллического тела складывается из деформации отдельных зерен и деформации в приграничных объемах. Отдельные зерна деформируются скольжением и

двойникованием, однако взаимная связь зерен и их множественность в поликристалле вносят свои особенности в механизм деформации.

Плоскости скольжения зерен произвольно ориентированы в пространстве, поэтому под влиянием внешних сил напряжения в плоскостях скольжения отдельных зерен будут различны. Деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения. Соседние зерна будут разворачиваться и постепенно вовлекаться в процесс деформации. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна получают форму, вытянутую в направлении наиболее интенсивного течения металла (поворачиваются осями наибольшей прочности вдоль направления деформации). Изменение структуры при деформации показано на рис. 1.37.

Металл приобретает волокнистое строение. Волокна с вытянутыми вдоль них неметаллическими включениями являются причиной неодинаковости свойств вдоль и поперек волокон. Одновременно с изменением формы зерен в процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки.

Когда кристаллические решетки большинства зерен получают одинаковую ориентировку, возникает текстура деформации.

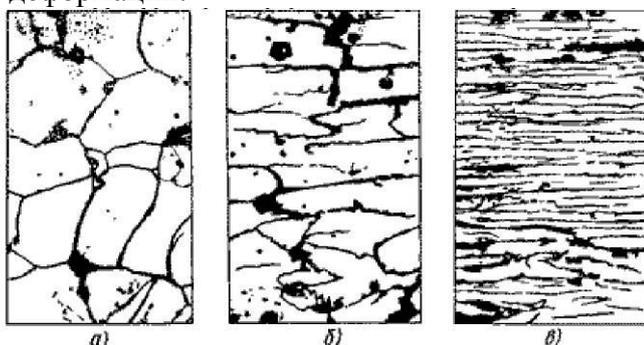


Рис. 1.37. Изменение структуры при деформации: а) до деформации; б) после обжатия на 35%; в) после обжатия на 90%.

Влияние пластической деформации на структуру и свойства металла: наклеп.

Текстура деформации создает кристаллическую анизотропию, при которой наибольшая разница свойств проявляется для направлений, расположенных под углом 45° друг к другу. С увеличением степени деформации характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) и вязкости (ударная вязкость) уменьшаются, а прочностные характеристики (предел упругости, предел текучести, предел прочности) и твердость увеличиваются. Также повышается электросопротивление, снижаются сопротивление коррозии, теплопроводность, магнитная проницаемость.

Совокупность явлений, связанных с изменением механических, физических и других свойств металлов в процессе пластической деформации называют деформационным упрочнением или наклепом. Упрочнение при наклепе объясняется возрастанием на несколько порядков плотности дислокаций.

Их свободное перемещение затрудняется взаимным влиянием, также торможением дислокаций в связи с измельчением блоков и зерен, искажениями решетки металлов, возникновением напряжений.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация.

Деформированный металл находится в неравновесном состоянии. Переход к равновесному состоянию связан с уменьшением искажений в кристаллической решетке, снятием напряжений, что определяется возможностью перемещения атомов.

При низких температурах подвижность атомов мала, поэтому состояние наклепа может сохраняться неограниченно долго. При повышении температуры металла в процессе нагрева после пластической деформации диффузия атомов увеличивается и начинают действовать процессы разупрочнения, приводящие металл в более равновесное состояние – возврат и рекристаллизация.

Возврат. Небольшой нагрев вызывает ускорение движения атомов, снижение плотности дислокаций, устранение внутренних напряжений и восстановление кристаллической решетки. Процесс частичного разупрочнения и восстановления свойств называется отдыхом (первая стадия возврата). Имеет место при температуре $T = 0,25 \dots 0,3T_{пл}$. Возврат уменьшает искажение кристаллической решетки, но не влияет на размеры и форму зерен и не препятствует образованию текстуры деформации.

Полигонизация – процесс деления зерен на части: фрагменты, полигоны в результате скольжения и переползания дислокаций. При температурах возврата возможна группировка дислокаций одинаковых знаков в стенки, деление зерна малоугловыми границами. В полигонизованном состоянии кристалл обладает меньшей энергией, поэтому образование полигонов – процесс энергетически выгодный.

Процесс протекает при небольших степенях пластической деформации. В результате понижается прочность на (10...15) % и повышается пластичность. Границы полигонов мигрируют в сторону большей объемной плотности дислокаций, присоединяя новые дислокации, благодаря чему углы разориентировки зерен увеличиваются (зерна аналогичны зернам, образующимся при рекристаллизации). Изменений в микроструктуре не наблюдается.

Температура начала полигонизации не является постоянной. Скорость процесса зависит от природы металла, содержания примесей, степени предшествующей деформации. При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов возрастает и происходит рекристаллизация.

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых недеформированных зерен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры. Нагрев металла до температур рекристаллизации сопровождается резким изменением микроструктуры и свойств. Нагрев приводит к резкому снижению прочности при одновременном возрастании пластичности. Также снижается электросопротивление и повышается теплопроводность.

1 стадия – первичная рекристаллизация (обработки) заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зерна возникают у границ старых зерен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зерен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зерен. Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Система стремится перейти в устойчивое состояние с неискаженной кристаллической решеткой.

2 стадия – собирательная рекристаллизация заключается в росте образовавшихся новых зерен. Движущей силой является поверхностная энергия зерен. При мелких зернах поверхность раздела большая, поэтому имеется большой запас поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, и система переходит в более равновесное состояние. Температура начала рекристаллизации связана с температурой плавления $T_{рек} = aT_{пл}$, для металлов $a = 0,4$; для твердых растворов $a = 0,5 \dots 0,8$; для металлов высокой чистоты $a = 0,1 \dots 0,2$.

На свойства металла большое влияние оказывает размер зерен, получившихся при рекристаллизации. В результате образования крупных зерен при нагреве до температуры t_1 начинает понижаться прочность и, особенно значительно, пластичность металла.

Основными факторами, определяющими величину зерен металла при рекристаллизации, являются температура, продолжительность выдержки при нагреве и степень предварительной деформации.

С повышением температуры происходит укрупнение зерен, с увеличением времени выдержки зерна также укрупняются. Наиболее крупные зерна образуются после незначительной предварительной деформации 3...10 %. Такую деформацию называют критической. Такая деформация нежелательна перед проведением рекристаллизационного отжига.

Практически рекристаллизационный отжиг проводят для малоуглеродистых сталей при температуре 600...700°C, для латуней и бронз – 560...700°C, для алюминиевых сплавов – 350...450°C, для титановых сплавов – 550...750°C.

ТЕМА 2 ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ. ЧУГУНЫ

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов. Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рис. 2.1.

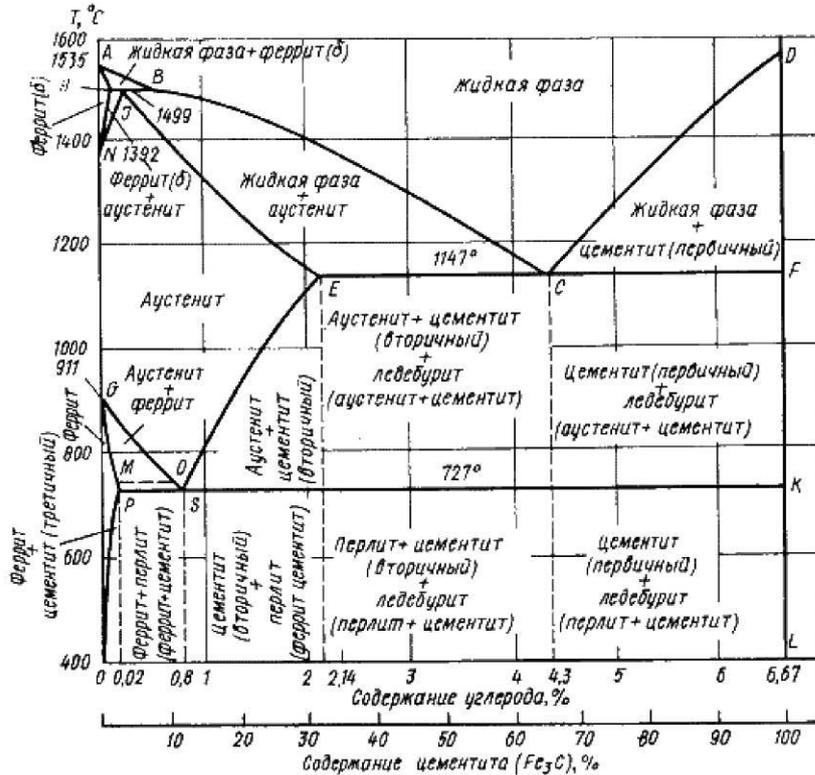


Рис. 2.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe_3C . Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего углерода 6,67%.

Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов.

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. **Железо** – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – $1539^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах $911^{\circ}C$ и $1392^{\circ}C$. При температуре ниже $911^{\circ}C$ существует Fe_{α} с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур $911...1392^{\circ}C$ устойчивым является Fe_{γ} с гранцентрированной кубической решеткой. Выше $1392^{\circ}C$ железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется Fe_{δ} или высокотемпературное Fe_{α} . Высокотемпературная модификация не представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру $911^{\circ}C$ превращения $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ обозначают точкой A_3 , а температуру $1392^{\circ}C$ превращения $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\delta}$ – точкой A_4 .

При температуре ниже 768°C железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа 768°C обозначается A_2 .

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – $\sigma_b = 250$ Мпа, предел текучести – $\sigma_T = 120$ Мпа) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение – $\delta = 50\%$, а относительное сужение – $\psi = 80\%$). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов. Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

2. *Углерод* относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления – 3500°C, плотность – 2,5 г/см³) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления – 5000°C).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (Fe_3C), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. *Цементит* (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода. Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена (1250, 1550°C). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217°C.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется легированным цементитом.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

В системе железо-углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. *Жидкая фаза*. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. *Феррит* (Ф) $Fe_\alpha(C)$ – твердый раствор внедрения углерода в α -железо. Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,02 % при температуре 727°C (точка P). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392°C существует высокотемпературный феррит (δ) $Fe_\delta(C)$, с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499°C (точка J).

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 НВ, предел прочности – $\sigma_b = 300$ Мпа) и пластичен (относительное удлинение – $\delta = 30\%$), магнитен до 768°C.

3. *Аустенит* (А) $Fe_\gamma(C)$ – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо. Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки. Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727°C (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147°C (точка E). Аустенит имеет твердость 200...250 НВ, пластичен (относительное удлинение – $\delta = 40...50\%$), парамагнитен. При

растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

4. *Цементит* – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный (Ц_I), цементит вторичный (Ц_{II}), цементит третичный (Ц_{III}). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений.

Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов.

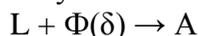
Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита).

Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов.

Линия ABCD – ликвидус системы. На участке AB начинается кристаллизация феррита (δ), на участке BC начинается кристаллизация аустенита, на участке CD – кристаллизация цементита первичного.

Линия ANJESCF – линия солидус. На участке AN заканчивается кристаллизация феррита (δ). На линии NJB при постоянной температуре 1499°C идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита (δ), в результате чего образуется аустенит:



На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной температуре 1147°C идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:



Эвтектика системы железо-цементит называется ледебуритом (Л), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода. При температуре ниже 727°C в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии HN начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается.

По линии GS превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии PG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии MO при постоянной температуре 768°C имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727°C идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:



По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии. Эвтектоид системы железо-цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода. Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск. Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского *arrêt* – остановка):

A1 – линия PSK (727°C) – превращение $\text{П} \leftrightarrow \text{А}$;

A2 – линия MO (768°C, т. Кюри) – магнитные превращения;

A3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $\text{Ф} \leftrightarrow \text{А}$;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $\text{А} \leftrightarrow \text{Ф} (\delta)$;

Acm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A3).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е. $A_{с1}$, при охлаждении – букву г, т.е. $A_{г1}$.

Структуры железоуглеродистых сплавов.

Все сплавы системы железо – цементит по структурному признаку делят на две большие группы: стали и чугуны.

Особую группу составляют сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка Р), их называют техническое железо. Микроструктуры сплавов представлены на рис. 2.2.

Структура таких сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита (рис.2.2 а), при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного, расположенных по границам зерен феррита (рис. 2.2.б), если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

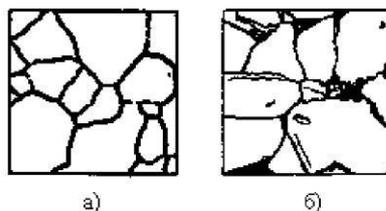


Рис. 2.2. Микроструктуры технического железа: а – содержание углерода менее 0,006%; б – содержание углерода 0,006...0,02 %

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита. Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии. Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей представлены на рис. 2.3.

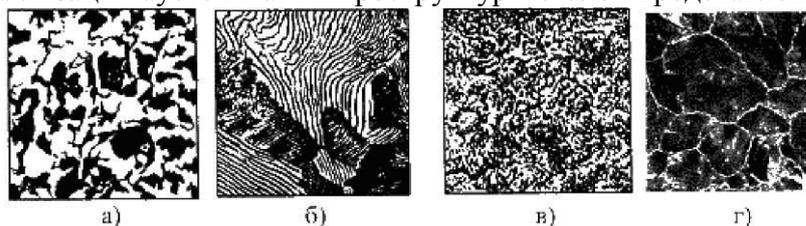


Рис. 2.3. Микроструктуры сталей: а – доэвтектоидная сталь (Ф+П); б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь (П + ЦII).

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные ($0,02\% < C < 0,8\%$), структура феррит + перлит (Ф+П) (рис. 2.3 а); эвтектоидные ($C = 0,8\%$), структура перлит (П), перлит может быть пластинчатый или зернистый (рис. 2.3 б и 2.3 в); заэвтектоидные ($0,8\% < C < 2,14\%$), структура перлит + цементит вторичный (П+ЦII), цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите – 6,67 %. Ввиду малой растворимости углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет. Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами. Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо-цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома – серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами. Микроструктуры белых чугунов представлены на рис. 2.4.

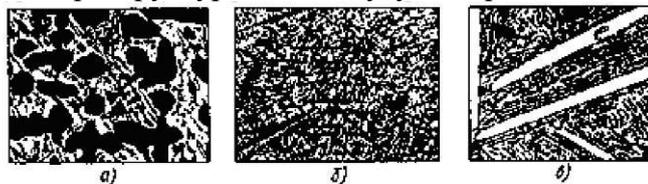


Рис. 2.4. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун (П+Л+Ц_в); б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун (Л+Ц_п)

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перлит + ледебурит + цементит вторичный (П+Л+Ц_в); эвтектические ($C = 4,3\%$), структура ледебурит (Л) (рис. 2.4 б); заэвтектические ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледебурит + цементит первичный (Л+Ц_п) (рис. 2.4 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

Стали.

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием. Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки. Стали, подразделяют на углеродистые и легированные.

Влияние углерода и примесей на свойства сталей.

Углеродистые стали являются основными. Их свойства определяются количеством углерода и содержанием примесей, которые взаимодействуют с железом и углеродом. Влияние углерода на свойства сталей показано на рис. 2.5.

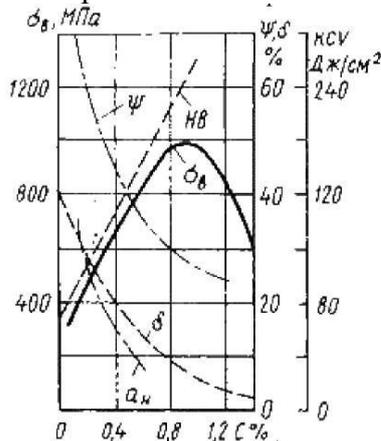


Рис. 2.5. Влияние углерода на свойства сталей

С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита. Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около 1%, а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода повышает порог хладоломкости и снижает ударную вязкость. Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода ухудшает литейные свойства стали (используются стали с содержанием углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

Влияние примесей.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы.

1. *Постоянные примеси:* кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они являются технологическими примесями.

Содержание марганца не превышает 0,5...0,8 %. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа FeS, так как образует с серой соединение сульфид марганца MnS. Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает 0,35...0,4 %. Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка. Кремний растворяется в феррите и повышает прочность стали, особенно повышается предел текучести. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали 0,025...0,045 %. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности и предел текучести, но снижает пластичность и вязкость. Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин. Повышение содержания фосфора на каждую 0,01 % повышает порог хладоломкости на 20...25°C. Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость. Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до 0,10...0,15 %, для улучшения обрабатываемости резанием.

Сера уменьшает пластичность, свариваемость и коррозионную стойкость. Содержание серы в сталях составляет 0,025...0,06 %. Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы FeS, которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988°C. При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление красноломкости. Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах. Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность (и), а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* – газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (FeO, SiO₂, Al₂O₃) нитридов (Fe₂N), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот N, кислород O) повышают порог хладоломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катаных заготовках и поковках флокенов. Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета. Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле. Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при 150...180 °C,

лучше в вакууме $10^{-2} \dots 10^{-3}$ мм рт. ст. Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали – легированные сталями.

Назначение легирующих элементов.

Основным легирующим элементом является хром 0,8...1,2%. Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладоломкости хромистых сталей – (0...–100) °С.

Дополнительные легирующие элементы.

Бор – 0,003%. Увеличивает прокаливаемость, а также повышает порог хладоломкости (+20...–60°С.

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладоломкости до (+40...–60) °С.

Титан (~0,1%) вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена (0,15...0,46%) в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снижает порог хладоломкости до (–20...–120)°С. Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве (0,1...0,3) % в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль (20ХГС, 30ХГСА). Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием. Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Распределение легирующих элементов в стали.

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти атомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода. Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а также кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее достроенную d-электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение d-электронной полосы атома металла, тогда как у металла валентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более 0,59 образуются типичные химические соединения: Fe_3C , Mn_3C , $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_3W_3C – которые имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее 0,59 образуются фазы внедрения: Mo_2C , WC , VC , TiC , TaC , W_2C – которые имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените. Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

4. Случайные примеси.

Классификация сталей

Стали классифицируются по множеству признаков.

1. По химическому составу: углеродистые и легированные.

2. По содержанию углерода: низкоуглеродистые, с содержанием углерода до 0,25 %; среднеуглеродистые, с содержанием углерода 0,3...0,6 %; высокоуглеродистые, с содержанием углерода выше 0,7 %

3. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.

4. По качеству. Количественным показателем качества является содержания вредных примесей: серы и фосфора: ($0,04\% < S < 0,06\%$), ($0,04\% < P < 0,08\%$) – углеродистые стали обыкновенного качества; ($P, S = 0,03...0,04\%$) – качественные стали; ($P, S \leq 0,03...0,04\%$) – высококачественные стали.

5. По способу выплавки: в мартеновских печах; в кислородных конверторах; в электрических печах: электродуговых, индукционных и др.

6. По назначению: конструкционные – применяются для изготовления деталей машин и механизмов; инструментальные – применяются для изготовления различных инструментов; специальные – стали с особыми свойствами: электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др.

Маркировка сталей.

Принято буквенно-цифровое обозначение сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380). Стали содержат повышенное количество серы и фосфора. Маркируются Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали. Цифры от 0 до 6 – это условный номер марки стали.

С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали. По гарантиям при поставке существует три группы сталей: А, Б и В. Для сталей группы А при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей группы Б гарантируется химический состав. Для сталей группы В при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Индексы кп, пс, сп указывают степень раскисленности стали: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная.

Качественные углеродистые стали. Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

Конструкционные качественные углеродистые стали маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной. Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45. Содержание углерода, соответственно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

Инструментальные качественные углеродистые стали маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента. Сталь У8, сталь У13. Содержание углерода, соответственно, 0,8 % и 1,3 %

Инструментальные высококачественные углеродистые стали маркируются аналогично качественным инструментальным углеродистым сталям, только в конце марки ставят букву А, для обозначения высокого качества стали. Сталь У10А.

Качественные и высококачественные легированные стали.

Обозначение буквенно-цифровое. Легирующие элементы имеют условные обозначения, Обозначаются буквами русского алфавита. Обозначения легирующих элементов: Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам, К – кобальт, Т – титан, А – азот (указывает

ся в середине марки), Г – марганец, Д – медь, Ф – ванадий, С – кремний, П – фосфор, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, Ю – алюминий

Легированные конструкционные стали.

Сталь 15X25H19BC2. В начале марки указывается двухзначное число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента. Далее перечисляются легирующие элементы. Число, следующее за условным обозначением элемента, показывает его содержание в процентах. Если число не стоит, то содержание элемента не превышает 1,5 %. В указанной марке стали содержится 0,15 % углерода, 35% хрома, 19 % никеля, до 1,5% вольфрама, до 2 % кремния. Для обозначения высококачественных легированных сталей в конце марки указывается символ А.

Легированные инструментальные стали.

Сталь 9ХС, сталь ХВГ. В начале марки указывается однозначное число, показывающее содержание углерода в десятых долях процента. При содержании углерода более 1 %, число не указывается. Далее перечисляются легирующие элементы, с указанием их содержания. Некоторые стали имеют нестандартные обозначения.

Быстрорежущие инструментальные стали.

Сталь Р18. Р – индекс данной группы сталей (от rapid – скорость). Содержание углерода более 1%. Число показывает содержание основного легирующего элемента – вольфрама. В указанной стали содержание вольфрама – 18 %. Если стали содержат легирующие элемент, то их содержание указывается после обозначения соответствующего элемента.

Шарикоподшипниковые стали.

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС. Ш – индекс данной группы сталей. Х – указывает на наличие в стали хрома. Последующее число показывает содержание хрома в десятых долях процента, в указанных сталях, соответственно, 0,6 % и 1,5 %. Также указываются входящие в состав стали легирующие элементы. Содержание углерода более 1 %.

Чугуны. Классификация чугунов.

Чугун отличается от стали: по составу – более высокое содержание углерода и примесей; по технологическим свойствам – более высокие литейные свойства, малая способность к пластической деформации, почти не используется в сварных конструкциях.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- белый чугун – углерод в связанном состоянии в виде цементита, в изломе имеет белый цвет и металлический блеск;
- серый чугун – весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде графита, а в связанном состоянии находится не более 0,8 % углерода. Из-за большого количества графита его излом имеет серый цвет;
- половинчатый – часть углерода находится в свободном состоянии в форме графита, но не менее 2 % углерода находится в форме цементита. Мало используется в технике.

Диаграмма состояния железо – графит.

В результате превращения углерод может не только химически взаимодействовать с железом, но и выделяться в элементарном состоянии в форме графита. Жидкая фаза, аустенит и феррит могут находиться в равновесии и с графитом.

Диаграмма состояния железо-графит показана штриховыми линиями на рис. 2.б.

Линии диаграммы находятся выше линий диаграммы железо-цементит. Температуры эвтектического и эвтектоидного превращений, соответственно, 1153°C и 738°C. Точки С, Е, S – сдвинуты влево, и находятся при концентрации углерода 4,24%, 2,11% и 0,7%, соответственно.

При высоких температурах цементит разлагается с выделением графита, поэтому диаграмма состояния железо-цементит является метастабильной, а диаграмма железо-графит – стабильной. Процесс образования графита в сплавах железа с углеродом называется графитизацией.

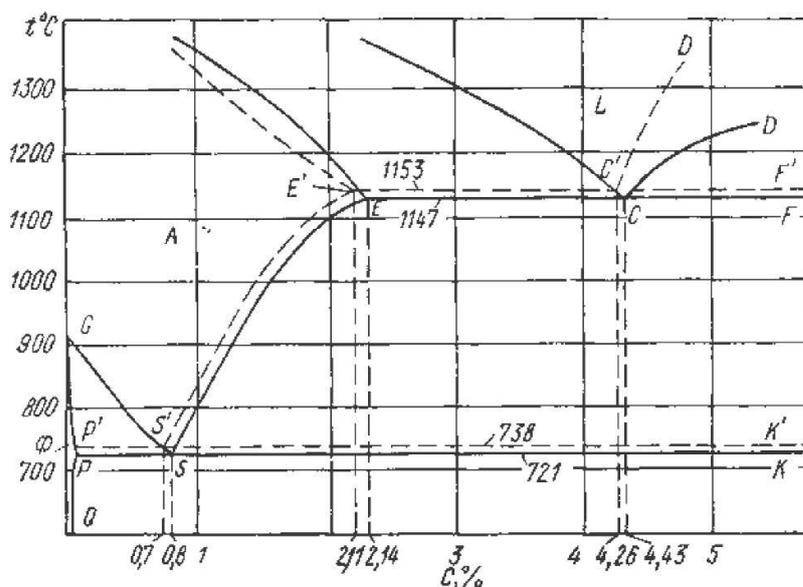


Рис. 2.6. Диаграмма состояния железо-углерод: сплошные линии – цементитная система; пунктирные линии – графитная

Процесс графитизации.

Графит – это полиморфная модификация углерода. Так как графит содержит 100% углерода, а цементит – 6,67%, то жидкая фаза и аустенит по составу более близки к цементиту, чем к графиту. Следовательно, образование цементита из жидкой фазы и аустенита должно протекать легче, чем графита. С другой стороны, при нагреве цементит разлагается на железо и углерод. Следовательно, графит является более стабильной фазой, чем цементит.

Возможны два пути образования графита в чугунах.

1. При благоприятных условиях (наличие в жидкой фазе готовых центров кристаллизации графита и очень медленное охлаждение) происходит непосредственное образование графита из жидкой фазы.

2. При разложении ранее образовавшегося цементита. При температурах выше 738°C цементит разлагается на смесь аустенита и графита по схеме.



При температурах ниже 738°C разложение цементита осуществляется по схеме:



При малых скоростях охлаждения степень разложения цементита больше. Графитизацию из жидкой фазы, а также от распада цементита первичного и цементита, входящего в состав эвтектики, называют первичной стадией графитизации.

Выделение вторичного графита из аустенита называют промежуточной стадией графитизации. Образование эвтектоидного графита, а также графита, образовавшегося в результате цементита, входящего в состав перлита, называют вторичной стадией графитизации.

Структура чугунов зависит от степени графитизации, т.е. от того, сколько углерода находится в связанном состоянии.

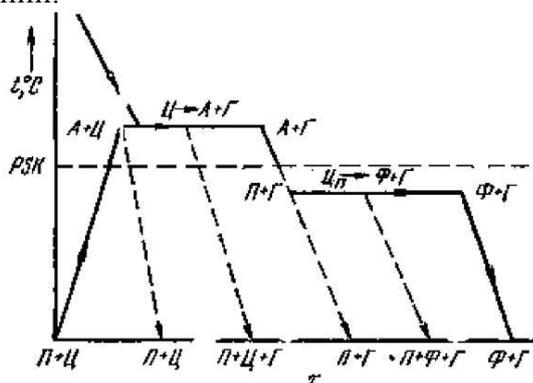


Рис. 2.7. Схема образования структур при графитизации

Выдержка при температуре больше 738°C приводит к графитизации избыточного нерастворившегося цементита. Если процесс завершить полностью, то при высокой температуре структура будет состоять из аустенита и графита, а после охлаждения – из перлита и графита.

При незавершенности процесса первичной графитизации, выше температуры 738°C структура состоит из аустенита, графита и цементита, а ниже этой температуры – из перлита, графита и цементита.

При переходе через критическую точку превращения аустенита в перлит, и выдержке при температуре ниже критической приведет к распаду цементита, входящего в состав перлита (вторичная графитизация). Если процесс завершен полностью то структура состоит из феррита и графита, при незавершенности процесса – из перлита, феррита и графита.

Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов.

Из рассмотрения структур чугунов можно заключить, что их металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали или технического железа. Отличаются от стали только наличием графитовых включений, определяющих специальные свойства чугунов.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: серый – с пластинчатым графитом; высокопрочный – с шаровидным графитом; ковкий – с хлопьевидным графитом. Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений представлены на рис. 2.8

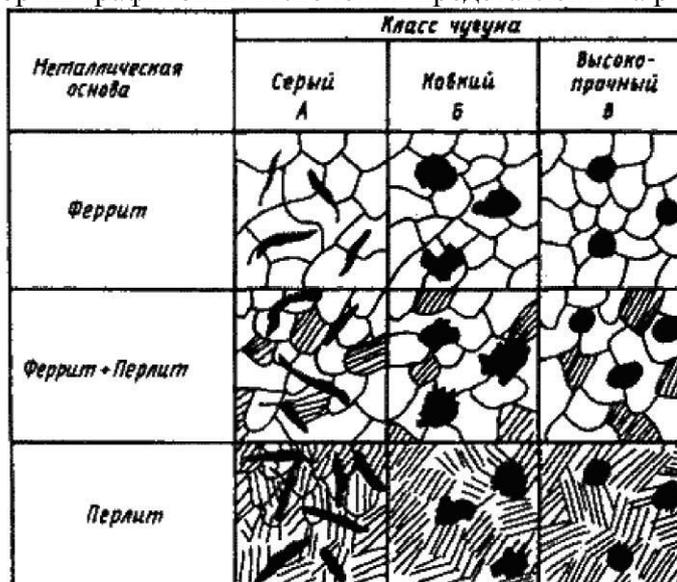


Рис. 2.8. Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Наиболее широкое распространение получили чугуны с содержанием углерода 2,4...3,8%. Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства, следовательно, количество углерода не должно превышать 3,8 %. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее 2,4 %.

Влияние состава чугуна на процесс графитизации.

Углерод и кремний способствуют графитизации, марганец затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна. Сера способствует отбеливанию чугуна и ухудшает литейные свойства, ее содержание ограничено – 0,08...0,12%. Фосфор на процесс графитизации не влияет, но улучшает жидкотекучесть, Фосфор является в чугунах полезной примесью, его содержание – 0,3...0,8 %.

Влияние графита на механические свойства отливок.

Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения,

значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной мере разупрочняют металл. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%. Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита:

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

Серый чугун.

Структура не оказывает влияние на пластичность, она остается чрезвычайно низкой, но оказывает влияние на твердость. Механическая прочность в основном определяется количеством, формой и размерами включений графита. Мелкие, завихренной формы чешуйки графита меньше снижают прочность. Такая форма достигается путем модифицирования. В качестве модификаторов применяют алюминий, силикокальций, ферросилиций.

Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами. В зависимости от прочности серый чугун подразделяют на 10 марок (ГОСТ 1412). Серые чугуны при малом сопротивлении растяжению имеют достаточно высокое сопротивление сжатию. Серые чугуны содержат углерода – 3,2...3,5 %; кремния – 1,9...2,5 %; марганца – 0,5...0,8 %; фосфора – 0,1...0,3 %; серы – <0,12 %.

Структура металлической основы зависит от количества углерода и кремния. С увеличением содержания углерода и кремния увеличивается степень графитизации и склонность к образованию ферритной структуры металлической основы. Это ведет к разупрочнению чугуна без повышения пластичности. Лучшими прочностными свойствами и износостойкостью обладают перлитные серые чугуны.

Учитывая малое сопротивление отливок из серого чугуна растягивающим и ударным нагрузкам, следует использовать этот материал для деталей, которые подвергаются сжимающим или изгибающим нагрузкам. В станкостроении это – базовые, корпусные детали, кронштейны, зубчатые колеса, направляющие; в автостроении – блоки цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, диски сцепления. Отливки из серого чугуна также используются в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.

Обозначаются индексом СЧ (серый чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} – СЧ 15.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), ферритоперлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу. Получают эти чугуны из серых, в результате модифицирования магнием или церием (добавляется 0,03...0,07% от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за шаровидной формы графита. Чугуны с перлитной металлической основой имеют высокие показатели прочности при меньшем значении пластичности. Соотношение пластичности и прочности ферритных чугунов – обратное.

Высокопрочные чугуны обладают высоким пределом текучести 300...420 МПа, что выше предела текучести стальных отливок. Также характерна достаточно высокая ударная вязкость и усталостная прочность 230...250 МПа при перлитной основе.

Высокопрочные чугуны содержат: углерода – 3,2...3,8 %, кремния – 1,9...2,6 %, марганца – 0,6...0,8 %, фосфора – до 0,12 %, серы – до 0,3 %. Эти чугуны обладают высокой жидкотекучестью, линейная усадка – около 1%. Литейные напряжения в отливках несколько выше, чем для серого чугуна. Из-за высокого модуля упругости достаточно высокая обрабатываемость резанием. Обладают удовлетворительной свариваемостью.

Из высокопрочного чугуна изготавливают тонкостенные отливки (поршневые кольца), шаботы ковочных молотов, станины и рамы прессов и прокатных станов, изложницы, резцедержатели, планшайбы. Отливки коленчатых валов массой до 2...3 т, взамен кованных валов из стали, обладают более высокой циклической вязкостью, малочувствительны к внешним концентраторам напряжения, обладают лучшими антифрикционными свойствами и значительно дешевле.

Обозначаются индексом ВЧ (высокопрочный чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} – ВЧ 100.

Ковкий чугун.

Ковкий чугун получают отжигом белого доэвтектического чугуна. Хорошие свойства у отливок обеспечиваются, если в процессе кристаллизации и охлаждения отливок в форме не происходит процесс графитизации. Чтобы предотвратить графитизацию, чугуны должны иметь пониженное содержание углерода и кремния. Ковкие чугуны содержат: углерода – 2,4...3,0 %, кремния – 0,8...1,4 %, марганца – 0,3...1,0 %, фосфора – до 0,2 %, серы – до 0,1 %. Формирование окончательной структуры и свойств отливок происходит в процессе отжига, схема которого представлена на рис. 2.9.

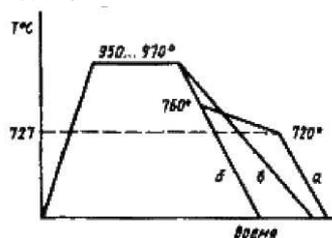


Рис. 2.9. Отжиг ковкого чугуна.

Отливки выдерживаются в печи при температуре 950...1000°C в течении 15...20 часов. Происходит разложение цементита: $Fe_3C \rightarrow 3Fe\gamma(C) + C$.

Структура после выдержки состоит из аустенита и графита (углерод отжига). При медленном охлаждении в интервале 760...720°C, происходит разложение цементита, входящего в состав перлита, и структура после отжига состоит из феррита и углерода отжига (получается ферритный ковкий чугун). При относительно быстром охлаждении (режим б, рис. 2.9) вторая стадия полностью устраняется, и получается перлитный ковкий чугун. Структура чугуна, отожженного по режиму в, состоит из перлита, феррита и графита отжига (получается феррито-перлитный ковкий чугун). Отжиг является длительной 70...80 часов и дорогостоящей операцией. В последнее время, в результате усовершенствований, длительность сократилась до 40 часов.

Различают 7 марок ковкого чугуна: три с ферритной (КЧ 30-6) и четыре с перлитной (КЧ 65-3) основой (ГОСТ 1215).

По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным является ограничение толщины стенок для отливки и необходимость отжига.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках. Из ферритных чугунов изготавливают картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы. Из перлитных чугунов, характеризующихся высо-

кой прочностью, достаточной пластичностью, изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, тормозные колодки.

Обозначаются индексом КЧ (высокопрочный чугун) и двумя числами, первое из которых показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} , а второе – относительное удлинение – КЧ 30-6.

Отбеленные и другие чугуны.

Отбеленные – отливки, поверхность которых состоит из белого чугуна, а внутри серый или высокопрочный чугун. В составе чугуна 2,8...3,6 % углерода, и пониженное содержание кремния – 0,5...0,8 %. Имеют высокую поверхностную твердость (950...1000 НВ) и очень высокую износостойкость. Используются для изготовления прокатных валов, вагонных колес с отбеленным ободом, шаров для шаровых мельниц.

Для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа, используются белые чугуны, легированные хромом, хромом и марганцем, хромом и никелем. Отливки из такого чугуна отличаются высокой твердостью и износостойкостью.

Для деталей, работающих в условиях износа при высоких температурах, используют высокохромистые и хромоникелевые чугуны. Жаростойкость достигается легированием чугунов кремнием (5...6 %) и алюминием (1...2 %). Коррозионная стойкость увеличивается легированием хромом, никелем, кремнием. Для чугунов можно применять термическую обработку.

ТЕМА 3

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Виды термической обработки металлов.

Свойства сплава зависят от его структуры. Основным способом, позволяющим изменять структуру, а, следовательно, и свойства является термическая обработка. Основы термической обработки разработал Чернов Д.К. В дальнейшем они развивались в работах Бочвара А.А., Курдюмова Г.В., Гуляева А.П.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура-время (рис. 3.1).

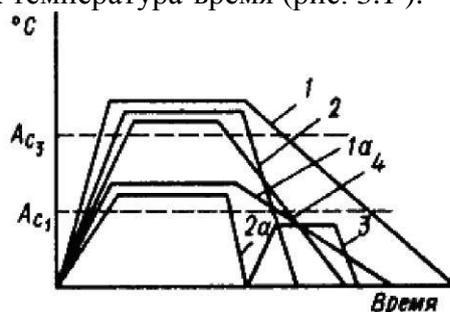


Рис. 3.1. Графики различных видов термообработки: отжига (1, 1а), закалки (2, 2а), отпуска (3), нормализации (4)

Различают следующие виды термической обработки:

1. *Отжиг I рода* – возможен для любых металлов и сплавов. Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии. Нагрев, при отжиге первого рода, повышая подвижность атомов, частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутреннее напряжения. Основное значение имеет температура нагрева и время выдержки. Характерным является медленное охлаждение.

Разновидностями отжига первого рода являются: диффузионный; рекристаллизационный; отжиг для снятия напряжения послековки, сварки, литья.

2. *Отжиг II рода* – отжиг металлов и сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении. Проводится для сплавов, в которых имеются

полиморфные или эвтектоидные превращения, а также переменная растворимость компонентов в твердом состоянии.

Проводят отжиг второго рода с целью получения более равновесной структуры и подготовки ее к дальнейшей обработке. В результате отжига измельчается зерно, повышаются пластичность и вязкость, снижаются прочность и твердость, улучшается обрабатываемость резанием. Характеризуется нагревом до температур выше критических и очень медленным охлаждением, как правило, вместе с печью (рис. 3.1, линии 1, 1а).

3. *Закалка* – проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышение твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит). Характеризуется нагревом до температур выше критических и высокими скоростями охлаждения (рис. 3.1, линии 2, 2а).

4. *Отпуск* – проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей. Характеризуется нагревом до температуры ниже критической A_1 (рис. 3.1, линия 3). Скорость охлаждения роли не играет. Происходят превращения, уменьшающие степень неравновесности структуры закаленной стали.

Термическую обработку подразделяют на предварительную и окончательную.

Предварительная – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием).

Окончательная – формирует свойство готового изделия.

Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении.

Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии (рис 3.2).

1. Превращение перлита в аустенит ($\Pi \rightarrow A$), происходит при нагреве выше критической температуры A_1 , минимальной свободной энергией обладает аустенит.



2. Превращение аустенита в перлит ($A \rightarrow \Pi$), происходит при охлаждении ниже A_1 , минимальной свободной энергией обладает перлит:

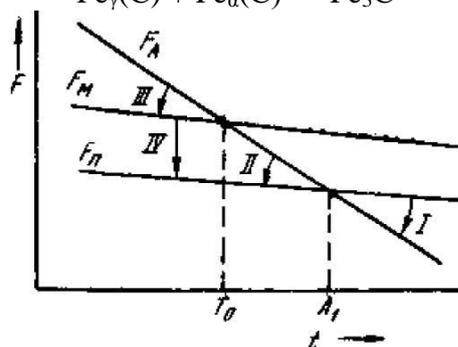
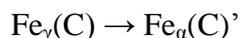


Рис. 3.2. Зависимость свободной энергии структурных составляющих сталей от температуры: аустенита (F_A), мартенсита (F_M), перлита (F_{Π})

3. Превращение аустенита в мартенсит ($A \rightarrow M$), происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия:



4. Превращение мартенсита в перлит ($M \rightarrow \Pi$), происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита.



Механизм основных превращений.

1. *Превращение перлита в аустенит*. Превращение основано на диффузии углерода, сопровождается полиморфным превращением, а так же растворением цементита в аустените. Для исследования процессов строят диаграммы изотермического образования аустенита

(рис.3.3). Для этого образцы нагревают до температуры выше и выдерживают, фиксируя начало и конец превращения.

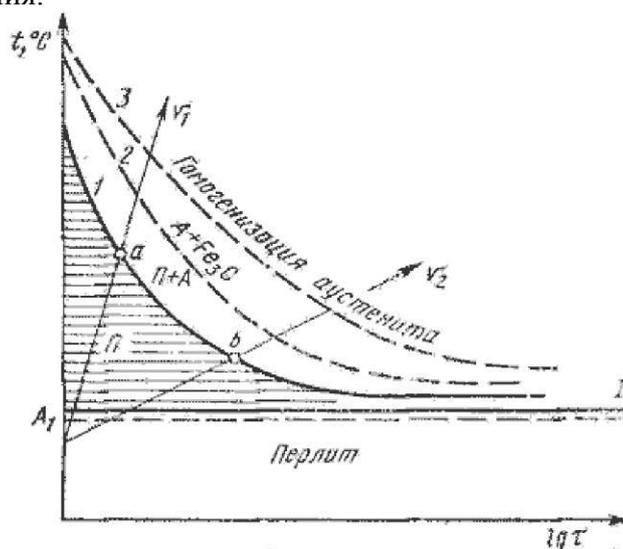


Рис. 3.3. Диаграмма изотермического образования аустенита: 1 – начало образования аустенита; 2 – конец преобразования перлита в аустенит; 3 – полное растворение цементита.

С увеличением перегрева и скорости нагрева продолжительность превращения сокращается. Механизм превращения представлен на рис. 3.4.

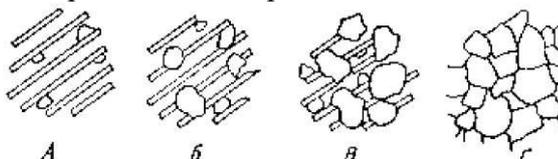


Рис. 3.4. Механизм превращения перлита в аустенит.

Превращение начинается с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка Fe_α перестраивается в решетку Fe_γ . Время превращения зависит от температуры, так как с увеличением степени перегрева уменьшается размер критического зародыша аустенита, увеличиваются скорость возникновения зародышей и скорость их роста.

Образующиеся зерна аустенита имеют вначале такую же концентрацию углерода, как и феррит. Затем в аустените начинает растворяться вторая фаза перлита – цементит, следовательно, концентрация углерода увеличивается. Превращение Fe_α в Fe_γ идет быстрее. После того, как весь цементит растворится, аустенит неоднороден по химическому составу: там, где находились пластинки цементита концентрация углерода более высокая. Для завершения процесса перераспределения углерода в аустените требуется дополнительный нагрев или выдержка. Величина образовавшегося зерна аустенита оказывает влияние на свойства стали.

Рост зерна аустенита. Образующиеся зерна аустенита получаются мелкими (начальное зерно). При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. Движущей силой роста является разность свободных энергий мелкозернистой (большая энергия) и крупнозернистой (малая энергия) структуры аустенита.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита. Если зерно аустенита начинает быстро расти даже при незначительном нагреве выше температуры A_1 , то сталь наследственно крупнозернистая. Если зерно растет только при большом перегреве, то сталь наследственно мелкозернистая.

Склонность к росту аустенитного зерна является плавочной характеристикой. Стали одной марки, но разных плавов могут различаться, так как содержат неодинаковое количество неметаллических включений, которые затрудняют рост аустенитного зерна. Ванадий, титан, молибден, вольфрам, алюминий – уменьшают склонность к росту зерна аустенита, а марганец и фосфор – увеличивают ее. Заэвтектонидные стали менее склонны к росту зерна.

При последующем охлаждении зерна аустенита не измельчаются. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства. Крупное зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладоломкости.

Различают величину зерна наследственного и действительного. Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до 930°C и затем определяют размер зерна. Действительная величина зерна – размер зерна при обычных температурах, полученный после той или иной термической обработки. Неправильный режим нагрева может привести либо к перегреву, либо к пережогу стали.

Перегрев. Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры приводит к интенсивному росту зерна аустенита. При охлаждении феррит выделяется в виде пластинчатых или игольчатых кристаллов. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами. Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный. Пережог – неисправимый брак.

2. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении.



Превращение связано с диффузией углерода, сопровождается полиморфным превращением $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\alpha$, выделением углерода из аустенита в виде цементита, разрастанием образовавшегося цементита. В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения. Вначале, с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, а затем убывает. При температуре 727°C и ниже 200°C скорость равна нулю. При температуре 200°C равна нулю скорость диффузии углерода.

Закономерности превращения.

Образцы нагревают до температуры, при которой структура состоит из однородного аустенита (770°C). Затем переносят в термостаты с заданной температурой (интервал 25...500 °C). Превращение аустенита можно легко обнаружить с помощью наблюдений за изменением магнитных характеристик, так как аустенит парамагнитен, а феррит и цементит обладают магнитными свойствами. Получают серию кинетических кривых, которые показывают количество образовавшегося перлита в зависимости от времени, прошедшего с начала превращения.

В начале наблюдается инкубационный подготовительный период, время, в течение которого сохраняется переохлажденный аустенит. Превращение протекает с различной скоростью и достигает максимума при образовании 50% продуктов распада. Затем скорость начинает уменьшаться и постепенно затухает. С увеличением степени переохлаждения устойчивость аустенита уменьшается, а затем увеличивается.

При малых степенях переохлаждения, в области температур 727...550°C, сущность превращения заключается в том, что в результате превращения аустенита образуется механическая смесь феррита и цементита, состав которой отличается от состава исходного аустенита. Аустенит содержит 0,8 % углерода, а образующиеся фазы: феррит – 0,02 %, цементит – 6,67 % углерода. Время устойчивости аустенита и скорость его превращения зависят от степени переохлаждения. Максимальная скорость превращения соответствует переохлаждению ниже температуры A_1 на 150...200°C, то есть соответствует минимальной устойчивости аустенита. Механизм превращения представлен на рис. 3.5.

При образовании перлита из аустенита ведущей фазой является цементит. Зарождение центров кристаллизации цементита облегчено на границе аустенитных зерен. Образовавшаяся пластинка цементита растет, удлиняется и обедняет соседние области углеродом. Рядом с ней образуются пластинки феррита. Эти пластинки растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с кристаллами перлита, растущими из других центров.

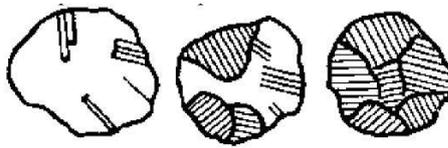


Рис. 3.5. Механизм превращения аустенита в перлит

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада. Толщина соседних пластинок феррита и цементита определяет дисперсность структуры и обозначается Δ_0 . Она зависит от температуры превращения. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют различное название.

$$\Delta_0 = (0,5 \dots 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{перлит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 650 \dots 700^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{\text{охл}} = 30 \dots 60^\circ\text{C/ч}$. Твердость составляет $180 \dots 250 \text{ НВ}$.

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{сорбит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 600 \dots 650^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{\text{охл}} = 60^\circ\text{C/с}$. Твердость составляет $250 \dots 350 \text{ НВ}$. Структура характеризуется высоким пределом упругости, достаточной вязкостью и прочностью.

$$\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{троостит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 550 \dots 600^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{\text{охл}} = 150^\circ\text{C/с}$. Твердость составляет $350 \dots 450 \text{ НВ}$. Структура характеризуется высоким пределом упругости, малой вязкостью и пластичностью.

Твердость ферритно-цементитной смеси прямопропорциональна площади поверхности раздела между ферритом и цементитом. Если температура нагрева незначительно превышала температуру A_1 и полученный аустенит неоднороден по составу, то при малой степени переохлаждения образуется зернистый лецит.

Промежуточное превращение.

При температуре ниже 550°C самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью. Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом превращаются в цементит.

Превращение обедненного углеродом аустенита в феррит происходит по сдвиговому механизму, путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом кристаллы имеют игольчатую форму. Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется бейнитом. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите ($0,1 \dots 0,2 \%$).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения. При температуре 550°C – $\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ – верхний бейнит. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении (δ) и ударной вязкости (a_H). При температуре 300°C – $\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ – нижний бейнит. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения.

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением Fe_γ в Fe_α .

При охлаждении стали со скоростью, большей критической ($V > V_K$), превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения (M_H) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения (M_K). В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – мартенсит. Минимальная скорость охлаждения V_K , при которой весь аустенит переохлаждается до температуры t . M_H и превращается, называется критической скоростью закалки. Так как процесс диффузии не происходит, то весь углерод аустенита остается в решетке Fe_α и располагается либо в центрах тетраэдров, либо в середине длинных ребер (рис. 3.6).

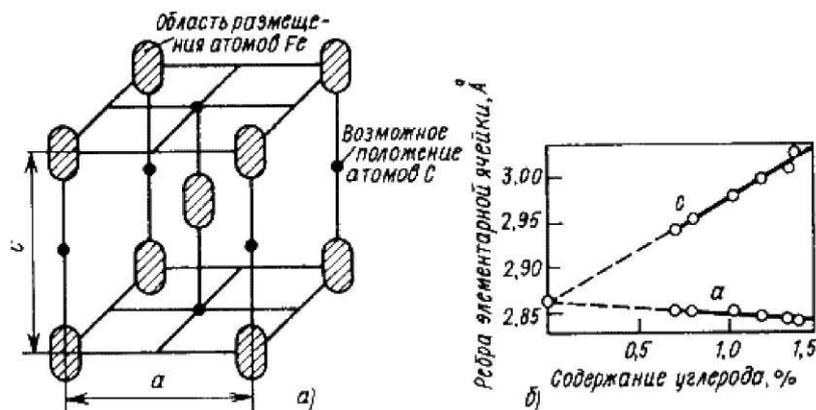


Рис. 3.6. Кристаллическая решетка мартенсита (а); влияние содержания углерода на параметры a и c решетки мартенсита (б)

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Fe_α . При образовании мартенсита кубическая решетка Fe_α сильно искажается, превращаясь в тетрагональную (рис. 3.6 а). Искажение решетки характеризуется степенью тетрагональности: $c / a > 1$. Степень тетрагональности прямопропорциональна содержанию углерода в стали (рис. 3.6 б).

Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей.

1. *Бездиффузионный характер.* Превращение осуществляется по сдвиговому механизму. В начале превращения имеется непрерывный переход от решетки аустенита к решетке мартенсита (когерентная связь). При превращении гранецентрированной кубической решетки в объемно-центрированную кубическую атомы смещаются на расстояния меньше межатомных, т.е. нет необходимости в самодиффузии атомов железа.

2. *Ориентированность кристаллов мартенсита.* Кристаллы имеют форму пластин, сужающихся к концу, под микроскопом такая структура выглядит как игольчатая. Образуюсь мгновенно пластины растут либо до границы зерна аустенита, либо до дефекта. Следующие пластины расположены к первым под углами 60° или 120° , их размеры ограничены участками между первыми пластинами (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Ориентированность кристаллов мартенсита

Ориентированный (когерентный) рост кристаллов мартенсита обеспечивает минимальную поверхностную энергию. При когерентном росте, из-за различия объемов аустенита и мартенсита, возникают большие напряжения. При достижении определенной величины кристаллов мартенсита, эти напряжения становятся равными пределу текучести аустенита. В результате этого нарушается когерентность и происходит отрыв решетки мартенсита от решетки аустенита. Рост кристаллов прекращается.

3. *Очень высокая скорость роста кристалла, до 1000 м/с.*

4. *Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении.* Для каждой стали начинается и заканчивается при определенной температуре, независимо от скорости охлаждения. Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой M_H , а температуру окончания превращения – M_K . Температуры M_H и M_K зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения. Для сталей с содержанием углерода выше 0,6 % M_K уходит в область отрицательных температур (рис. 3.8). Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше M_H .

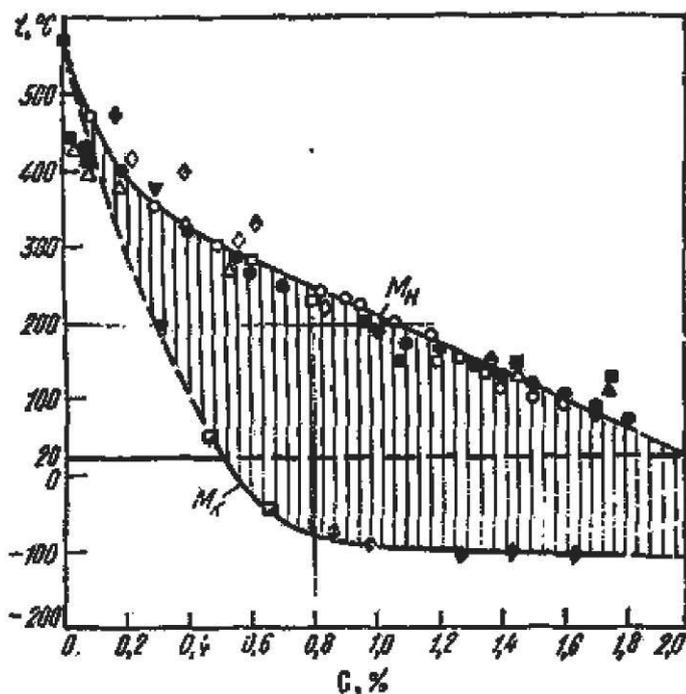


Рис. 3.8. Зависимость температур начала (M_H) и конца (M_K) мартенситного превращения от содержания углерода в стали

В сталях с M_K ниже 20°C присутствует аустенит остаточный, его количество тем больше, чем ниже M_H и M_K (при содержании углерода $0,6 \dots 1,0\%$ количество аустенита остаточного – 10% , при содержании углерода $1,5\%$ – до 50%). В микроструктуре наблюдается в виде светлых полей между иглами мартенсита.

5. *Превращение необратимое.* Получить аустенит из мартенсита невозможно. Свойства мартенсита обусловлены особенностями его образования. Он характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью, что обуславливает хрупкость. Твердость составляет до 65 HRC . Высокая твердость вызвана влиянием внедренных атомов углерода в решетку α -фазы, что вызывает ее искажение и возникновение напряжений. С повышением содержания углерода в стали возрастает склонность к хрупкому разрушению.

Превращение мартенсита в перлит имеет место при нагреве закаленных сталей. Превращение связано с диффузией углерода. Мартенсит закалки неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. Для получения равновесной структуры изделия подвергают отпуску. При нагреве закаленной стали происходят следующие процессы.

При нагреве до 200°C происходит перераспределение углерода в мартенсите. Образуются пластинки ϵ -карбидов толщиной несколько атомных диаметров. На образование карбидов углерод расходуется только из участков мартенсита, окружающих кристаллы выделившихся карбидов. Концентрация углерода на этих участках резко падает, тогда как удаленные участки сохраняют концентрацию углерода. В стали присутствуют карбиды и два α -твердых раствора мартенсита (с высокой и низкой концентрацией углерода. Такой тип распада мартенсита называется прерывистым. Скорость диффузии мала, карбиды не увеличиваются, распад мартенсита сопровождается зарождением новых карбидных частиц. Таким образом, имеем структуру с неравномерным распределением углерода – это мартенсит отпуска. При этом несколько снижается тетрагональность решетки.

При нагреве до 300°C идет рост образовавшихся карбидов. Карбиды выделяются из мартенсита и он обедняется углеродом. Диффузия углерода увеличивается и карбиды растут в результате притока углерода из областей твердого раствора с высокой его концентрацией. Кристаллическая решетка карбидов когерентно связана с решеткой мартенсита. В высокоуглеродистых сталях аустенит остаточный превращается в мартенсит отпуска. Наблюдается снижение тетрагональности решетки и внутренних напряжений. Структура – *мартенсит отпуска*.

При нагреве до 400°C весь избыточный углерод выделяется из Fe_α . Карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение цементита, и начинают расти. Форма карбидных частиц приближается к сферической. Высокодисперсная смесь феррита и цементита называется *троостит отпуска*;

При нагреве выше 400°C изменение фазового состава не происходит, изменяется только микроструктура. Имеет место рост и сфероидизация цементита. Наблюдается растворение мелких и рост крупных карбидных частиц.

При температуре 550...600°C имеем *сорбит отпуска*. Карбиды имеют зернистое строение. Улучшаются свойства стали.

При температуре 650...700°C получают более грубую ферритно-цементитную смесь – *перлит отпуска* (зернистый перлит).

Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, заковки и отпуска.

При разработке технологии необходимо установить: режим нагрева деталей (температуру и время нагрева); характер среды, где осуществляется нагрев и ее влияние на материал стали; условия охлаждения.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с диаграммами состояния и диаграммой изотермического распада аустенита. Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин. Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, однороднее ее структура, проще конфигурация. Скорость нагрева принимается 0,8...1 мин на 1 мм сечения. Время выдержки принимается около 20 % от времени нагрева. Среда нагрева при нагреве в печи с газовой средой.

Составляющие могут оказывать на сталь различное действие: окисляющее (O_2 , CO_2 , H_2O); восстанавливающее (CO , CH_4); обезуглероживающее (O_2 , H_2); науглероживающее (CO , CH_4); нейтральное (N_2 , инертные газы).

Окисление с образованием окалины Fe_2O_3 , препятствует получению высокой и равномерной твердости при закалке, приводит к изменению размеров, требует увеличения припусков на механическую обработку. Обезуглероживание (выгорание углерода в поверхностном слое металла) способствует появлению мягких пятен при закалке и возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность. На рис. 3.9 показаны температурные области нагрева при термической обработке сталей.

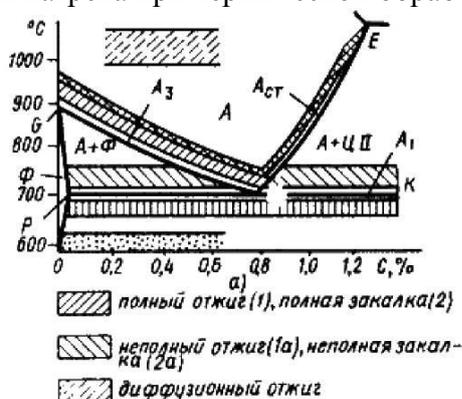


Рис. 3.9. Левый угол диаграммы состояния железо-цементит и температурные области нагрева при термической обработке сталей

Отжиг и нормализация.

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет: улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием; исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литые стали; подготовить структуру к последующей термической обработке. Характерно медленное охлаждение со скоростью 30...100°С/ч.

Отжиг первого рода.

1. *Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг.* Применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава. В его основе – диффузия. В результате нагрева выравнивается состав, растворяются избыточные карбиды. Применяется, в основном, для легированных сталей. Температура нагрева зависит от температуры плавления, $T_H = 0,8 T_{пл}$. Продолжительность выдержки: $\tau = 8...20$ часов.

2. *Рекристаллизационный отжиг* проводится для снятия напряжений после холодной пластической деформации. Температура нагрева связана с температурой плавления: $T_H = 0,4 T_{пл}$. Продолжительность зависит от габаритов изделия.

3. *Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки* (литья, сварки, обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров). Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения, находится в широком диапазоне: $T_H = 160...700^\circ\text{C}$. Продолжительность зависит от габаритов изделия.

Детали прецизионных станков (ходовые винты, высоконагруженные зубчатые колеса, червяки) отжигают после основной механической обработки при температуре 570...600°С в течение 2...3 часов, а после окончательной механической обработки, для снятия шлифовочных напряжений – при температуре 160...180°С в течение 2...2,5 часов.

Отжиг второго рода предназначен для изменения фазового состава. Температура нагрева и время выдержки обеспечивают нужные структурные превращения. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения. Является подготовительной операцией, которой подвергают отливки, поковки, прокат.

Отжиг снижает твердость и прочность, улучшает обрабатываемость резанием средне- и высокоуглеродистых сталей. Измельчая зерно, снижая внутренние напряжения и уменьшая структурную неоднородность способствует повышению пластичности и вязкости.

В зависимости от температуры нагрева различают отжиг:

1. *полный*, с температурой нагрева на 30...50°С выше критической температуры A_3 . Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры. При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый, и после охлаждения сталь имеет также мелкозернистую структуру.

2. *неполный*, с температурой нагрева на 30...50°С выше критической температуры A_1 . Применяется для заэвтектоидных сталей. При таком нагреве в структуре сохраняется цементит вторичный, в результате отжига цементит приобретает сферическую форму (сфероидизация). Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой дробится цементитная сетка. Структура с зернистым цементитом лучше обрабатывается и имеет лучшую структуру после закалки. Неполный отжиг является обязательным для инструментальных сталей. Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправление структуры (сталь мелкозернистая), а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием.

3. *циклический или маятниковый* отжиг применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A_1 следует охлаждение до 680°С, затем снова нагрев до температуры 750...760°С и охлаждение. В результате получают зернистый цементит.

4. *изотермический* отжиг – после нагрева до требуемой температуры, изделие быстро охлаждают до температуры на 50...100°С ниже критической температуры A_1 и выдерживают

до полного превращения аустенита в перлит, затем охлаждают на спокойном воздухе (рис. 3.10). Температура изотермической выдержки близка к температуре минимальной устойчивости аустенита.

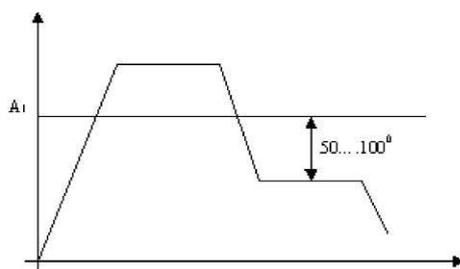


Рис. 3.10. Режимы изотермического отжига

В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.

5. *Нормализация* – разновидность отжига. Термическая обработка, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния, на 30...50°С выше A_3 или $A_{ст}$ с последующим охлаждением на воздухе. В результате нормализации получают более тонкое строение эвтектоида (тонкий перлит или сорбит), уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки, полученные в процессе предшествующей обработки. Твердость и прочность несколько выше чем после отжига. В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет грубую сетку вторичного цементита.

Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Иногда проводят как окончательную обработку, например, при изготовлении сортового проката. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига. Для среднеуглеродистых сталей нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки с высоким отпуском. В этом случае механические свойства несколько ниже, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

Закалка.

Конструкционные стали подвергают закалке и отпуску для повышения прочности и твердости, получения высокой пластичности, вязкости и высокой износостойкости, а инструментальные – для повышения твердости и износостойкости. Верхний предел температур нагрева для заэвтектоидных сталей ограничивается, так как приводит к росту зерна, что снижает прочность и сопротивление хрупкому разрушению.

Основными параметрами являются температура нагрева и скорость охлаждения. Продолжительность нагрева зависит от нагревательного устройства, по опытным данным на 1 мм сечения затрачивается: в электрической печи – 1,5...2 мин.; в пламенной печи – 1 мин.; в соляной ванне – 0,5 мин.; в свинцовой ванне – 0,1...0,15 мин.

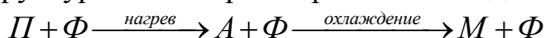
По температуре нагрева различают виды закалки:

– полная, с температурой нагрева на 30...50°С выше критической температуры A_3 .

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



– неполная с температурой нагрева на 30...50°С выше критической температуры A_1 .

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После охлаждения в структуре остается вторичный цементит, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента. После полной закалки заэвтектоидных ста-

лей получают дефектную структуру грубоигольчатого мартенсита. Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

Охлаждение при закалке. Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали. Режим охлаждения должен исключить возникновение больших закалочных напряжений. При высоких скоростях охлаждения при закалке возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению и растрескиванию.

Внутренние напряжения, уравниваемые в пределах макроскопических частей тела, называются напряжениями I рода. Они ответственны за искажение формы (коробление) и образование трещин при термообработке. Причинами возникновения напряжений являются: различие температуры по сечению изделия при охлаждении; одновременное протекание фазовых превращений в разных участках изделия.

Для предупреждения образования трещин необходимо избегать растягивающих напряжений в поверхностных слоях изделия. На характер распределения напряжений при закалке, помимо режима охлаждения, оказывает влияние и температура нагрева под закалку. Перегрев содействует образованию закалочных трещин, увеличивает деформации.

Режим охлаждения должен также обеспечить необходимую глубину закаленного слоя. Оптимальный режим охлаждения: максимальная скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M_H$, для предотвращения распада переохлажденного аустенита в области перлитного превращения, и минимальная скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения $M_H - M_K$, с целью снижения остаточных напряжений и возможности образования трещин. Очень медленное охлаждение может привести к частичному отпуску мартенсита и увеличению количества аустенита остаточного, а следовательно к снижению твердости.

В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду при различных температурах, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы.

Вода имеет существенный недостаток: высокая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения приводит к образованию закалочных дефектов. С повышением температуры воды ухудшается ее закалочная способность.

Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8...12 %-ные водные растворы NaCl и NaOH. Они мгновенно разрушают паровую рубашку и охлаждение происходит более равномерно и на стадии пузырькового кипения. Увеличения охлаждающей способности достигают при использовании струйного или душевого охлаждения, например, при поверхностной закалке.

Для легированных сталей с высокой устойчивостью аустенита используют минеральное масло (нефтяное). Обеспечивающее небольшую скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения и постоянство закалывающей способности. Недостатками минеральных масел являются повышенная воспламеняемость, низкая охлаждающая способность в интервале температур перлитного превращения, высокая стоимость.

При выборе охлаждающей среды необходимо учитывать закалываемость и прокаливаемость стали.

Закалываемость – способность стали приобретать высокую твердость при закалке. Закалываемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закалываются.

Прокаливаемость – способность получать закаленный слой с мартенситной и троостомартенситной структурой, обладающей высокой твердостью, на определенную глубину. За глубину закаленной зоны принимают расстояние от поверхности до середины слоя, где в структуре одинаковые объемы мартенсита и троостита. Чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. Укрупнение зерен повышает прокаливаемость. Если скорость охлаждения в сердцевине изделия превышает критическую то сталь имеет сквоз-

ную прокаливаемость. Нерастворимые частицы и неоднородность аустенита уменьшают прокаливаемость.

Характеристикой прокаливаемости является критический диаметр. Критический диаметр – максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия. С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость увеличиваются (особенно молибден и бор, кобальт – наоборот).

Способы закалки.

В зависимости от формы изделия, марки стали и нужного комплекса свойств применяют различные способы охлаждения (рис. 3.11):

1. *Закалка в одном охладителе (V_1)*. Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют: воду – для крупных изделий из углеродистых сталей; масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей. Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

2. *Закалка в двух сферах или прерывистая (V_2)*. Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^\circ\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло). Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения. Применяется в основном для закалки инструментов. Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

3. *Ступенчатая закалка (V_3)*. Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30\dots 50^\circ\text{C}$ выше точки M_H и выдерживают в течение времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению. Время изотермической выдержки не превышает периода устойчивости аустенита при заданной температуре. В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью. Способ используется для мелких и средних изделий.

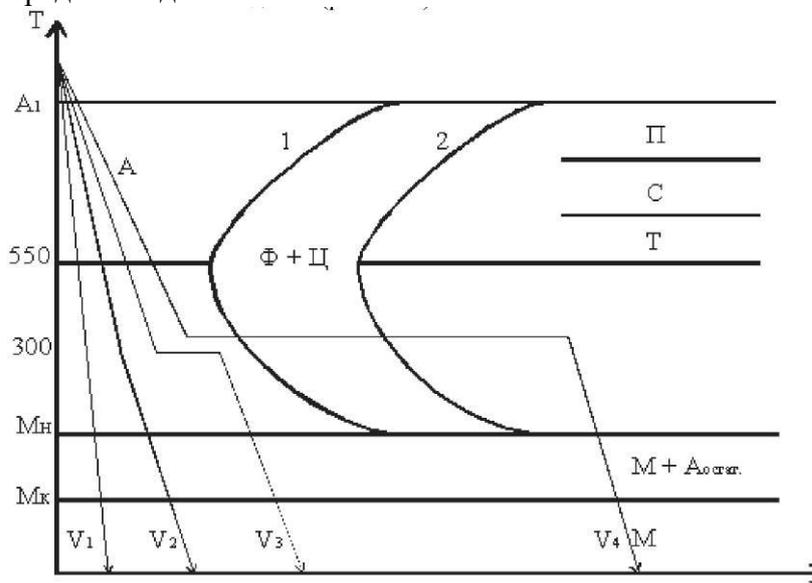


Рис. 3.11. Режимы закалки

4. *Изотермическая закалка (V_4)*. Отличается от ступенчатой закалки продолжительностью выдержки при температуре выше M_H , в области промежуточного превращения. Изотермическая выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. При промежуточном превращении легированных сталей кроме бейнита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Образовавшаяся структура характеризуется сочетанием высокой прочности, пластичности и вязкости. Вместе с этим снижается деформация из-за закалочных напряжений, уменьшаются и фазовые напряжения. В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи. Применяются для легированных сталей.

5. *Закалка с самоотпуском.* Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения. После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск. Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: мототки, зубила).

Отпуск.

Отпуск является окончательной термической обработкой. Целью отпуска является повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей. С повышением температуры нагрева прочность обычно снижается, а пластичность и вязкость растут. Температуру отпуска выбирают, исходя из требуемой прочности конкретной детали.

Различают три вида отпуска:

1. *Низкий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 150...300^\circ\text{C}$. В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – мартенсит отпуска. Проводят для инструментальных сталей; после закалки токами высокой частоты; после цементации.

2. *Средний отпуск* с температурой нагрева $T_n = 300...450^\circ\text{C}$. Получают структуру – троостит отпуска, сочетающую высокую твердость 40...45HRC с хорошей упругостью и вязкостью. Используется для изделий типа пружин, рессор.

3. *Высокий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 450...650^\circ\text{C}$. Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) – сорбит отпуска. Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Комплекс термической обработки, включающий закалку и высокий отпуск, называется *улучшением*.

Отпускная хрупкость.

Обычно с повышением температуры отпуска ударная вязкость увеличивается, а скорость охлаждения не влияет на свойства. Но для некоторых сталей наблюдается снижение ударной вязкости. Этот дефект называется *отпускной хрупкостью* (рис. 3.12).

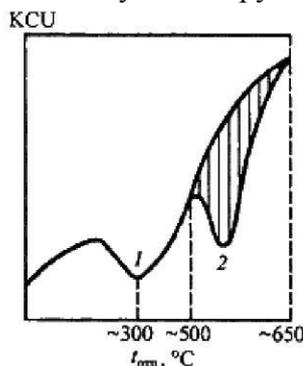


Рис. 3.12. Зависимость ударной вязкости от температуры отпуска

Отпускная хрупкость I рода наблюдается при отпуске в области температур около 300°C . Она не зависит от скорости охлаждения. Это явление связано с неравномерностью превращения отпущенного мартенсита. Процесс протекает быстрее вблизи границ зерен по сравнению с объемами внутри зерна. У границ наблюдается концентрация напряжений, поэтому границы хрупкие. Отпускная хрупкость I рода «необратима», то есть при повторных нагревах тех же деталей не наблюдается.

Отпускная хрупкость II рода наблюдается у легированных сталей при медленном охлаждении после отпуска в области $450...650^\circ\text{C}$. При высоком отпуске по границам зерен происходит образование и выделение дисперсных включений карбидов. Приграничная зона обедняется легирующими элементами. При последующем медленном охлаждении происходит диффузия фосфора к границам зерна. Приграничные зоны обогащаются фосфором, сни-

жаются прочность и ударная вязкость. Этому дефекту способствуют хром, марганец и фосфор. Уменьшают склонность к отпускной хрупкости II рода молибден и вольфрам, а также быстрое охлаждение после отпуска. Отпускная хрупкость II рода «обратима», то есть при повторных нагревах и медленном охлаждении тех же сталей в опасном интервале температур дефект может повториться.

Стали, склонные к отпускной хрупкости II рода, нельзя использовать для работы с нагревом до 650°C без последующего быстрого охлаждения.

Химико-термическая обработка стали.

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя детали. Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате их взаимодействия с окружающей средой (твердой, жидкой, газообразной, плазменной), в которой осуществляется нагрев. В результате изменения химического состава поверхностного слоя изменяются его фазовый состав и микроструктура,

Основными параметрами химико-термической обработки являются температура нагрева и продолжительность выдержки. В основе любой разновидности химико-термической обработки лежат процессы диссоциации, адсорбции, диффузии.

Диссоциация – получение насыщающего элемента в активированном атомарном состоянии в результате химических реакций, а также испарения.

Адсорбция – захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента. Адсорбция – всегда экзотермический процесс, приводящий к уменьшению свободной энергии.

Диффузия – перемещение адсорбированных атомов вглубь изделия.

Для осуществления процессов адсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения.

Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей. Основными разновидностями химико-термической обработки являются:

- цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом);
- азотирование (насыщение поверхностного слоя азотом);
- нитроцементация или цианирование (насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом);
- диффузионная металлизация (насыщение поверхностного слоя различными металлами).

Цементация.

Цементация – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры 900...950°C. Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25 %).

Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод. Подобранные режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины. Глубина цементации (h) – расстояние от поверхности изделия до середины зоны, где в структуре имеются одинаковые объемы феррита и перлита ($h = 1...2$ мм).

Степень цементации – среднее содержание углерода в поверхностном слое (обычно, не более 1,2 %). Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость.

На практике применяют цементацию в твердом и газовом карбюризаторе (науглероживающей среде). Участки деталей, которые не подвергаются цементации, предварительно покрываются медью (электролитическим способом) или глиняной смесью.

Цементация в твердом карбюризаторе.

Почти готовые изделия, с припуском под шлифование, укладывают в металлические ящики и пересыпают твердым карбюризатором. Используется древесный уголь с добавками углекислых солей BaCO_3 , Na_2CO_3 в количестве 10...40%. Закрытые ящики укладывают в печь и выдерживают при температуре 930...950°C. За счет кислорода воздуха происходит

неполное сгорание угля с образованием окиси углерода (CO), которая разлагается с образованием атомарного углерода по реакции:



Образующиеся атомы углерода адсорбируются поверхностью изделий и диффундируют вглубь металла. Недостатками данного способа являются: значительные затраты времени (для цементации на глубину 0,1 мм затрачивается 1 час); низкая производительность процесса; громоздкое оборудование; сложность автоматизации процесса. Способ применяется в мелкосерийном производстве.

Газовая цементация.

Процесс осуществляется в печах с герметической камерой, наполненной газовым карбюратором. Атмосфера углеродосодержащих газов включает азот, водород, водяные пары, которые образуют газ-носитель, а также окись углерода, метан и другие углеводороды, которые являются активными газами. Глубина цементации определяется температурой нагрева и временем выдержки.

Преимущества способа: возможность получения заданной концентрации углерода в слое (можно регулировать содержание углерода, изменяя соотношение составляющих атмосферу газов); сокращение длительности процесса за счет упрощения последующей термической обработки; возможность полной механизации и автоматизации процесса. Способ применяется в серийном и массовом производстве.

Структура цементованного слоя.

Структура цементованного слоя представлена на рис. 3.13.

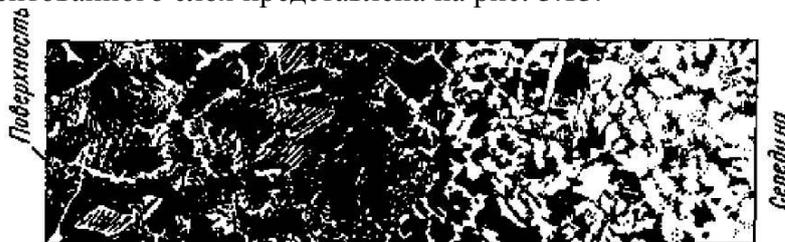


Рис. 3.13. Структура цементованного слоя

На поверхности изделия образуется слой заэвтектоидной стали, состоящий из перлита и цементита. По мере удаления от поверхности, содержание углерода снижается и следующая зона состоит только из перлита. Затем появляются зерна феррита, их количество, по мере удаления от поверхности увеличивается. И, наконец, структура становится отвечающей исходному составу.

Термическая обработка после цементации.

В результате цементации достигается только выгодное распределение углерода по сечению. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая термообработка. Все изделия подвергают закалке с низким отпускком. После закалки цементованное изделие приобретает высокую твердость и износостойкость, повышается предел контактной выносливости и предел выносливости при изгибе, при сохранении вязкой сердцевины. Комплекс термической обработки зависит от материала и назначения изделия. Графики различных комплексов термической обработки представлены на рис. 3.14.

При газовой цементации изделия по окончании процесса подстуживают до этих температур, а затем проводят закалку (не требуется повторный нагрев под закалку) (рис. 3.14 а).

Если сталь наследственно мелкозернистая или изделия неответственного назначения, то проводят однократную закалку с температуры 820...850°C (рис 3.14 б). При этом обеспечивается получение высокоуглеродистого мартенсита в цементованном слое, а также частичная перекристаллизация и измельчение зерна сердцевины.

Для удовлетворения особо высоких требований, предъявляемых к механическим свойствам цементованных деталей, применяют двойную закалку (рис. 3.14 в). Первая закалка (или нормализация) проводится с температуры 880...900°C для исправления структуры сердцевины. Вторая закалка проводится с температуры 760...780°C для получения мелкоигольча-

того мартенсита в поверхностном слое. Завершающей операцией термической обработки всегда является низкий отпуск, проводимый при температуре 150...180°C. В результате отпуска в поверхностном слое получают структуру мартенсита отпуска, частично снимаются напряжения. Цементации подвергают зубчатые колеса, поршневые кольца, червяки, оси, ролики.

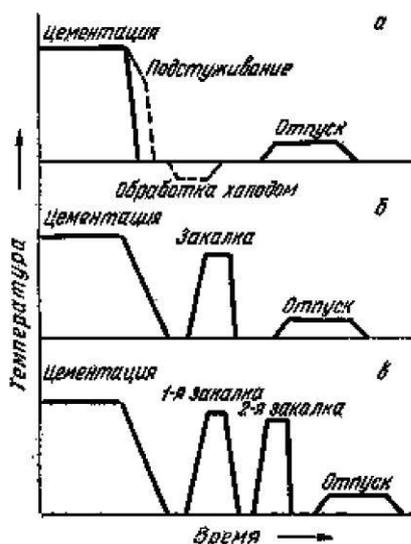


Рис. 3.14. Режимы термической обработки цементованных изделий

Азотирование.

Азотирование – химико-термическая обработка, при которой поверхностные слои насыщаются азотом. Впервые азотирование осуществил Чижевский И.П., промышленное применение – в двадцатые годы. При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость. При азотировании изделия загружают в герметичные печи, куда поступает аммиак NH_3 с определенной скоростью. При нагреве аммиак диссоциирует по реакции: $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$. Атомарный азот поглощается поверхностью и диффундирует вглубь изделия. Фазы, получающиеся в азотированном слое углеродистых сталей, не обеспечивают высокой твердости, и образующийся слой хрупкий.

Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан. Нитриды этих элементов дисперсны и обладают высокой твердостью и термической устойчивостью. Типовые азотируемые стали: 38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ. Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от ряда факторов, из которых основные: температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали.

В зависимости от условий работы деталей различают азотирование: для повышения поверхностной твердости и износостойкости; для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное азотирование).

В первом случае процесс проводят при температуре 500...560°C в течение 24...90 часов, так как скорость азотирования составляет 0,01 мм/ч. Содержание азота в поверхностном слое составляет 10...12 %, толщина слоя $h = 0,3...0,6$ мм. На поверхности получают твердость около 1000 НV. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака.

Значительное сокращение времени азотирования достигается при ионном азотировании, когда между катодом (деталью) и анодом (контейнерной установкой) возбуждается тлеющий разряд. Происходит ионизация азотосодержащего газа, и ионы бомбардируя поверхность катода, нагревают его до температуры насыщения. Катодное распыление осуществляется в течение 5...60 мин при напряжении 1100...1400 В и давлении 0,1...0,2 мм рт. ст., рабочее напряжение 400...1100 В, продолжительность процесса до 24 часов.

Антикоррозионное азотирование проводят и для легированных, и для углеродистых сталей. Температура проведения азотирования – 650...700°C, продолжительность процесса – 10 часов. На поверхности образуется слой ϵ -фазы толщиной 0,01...0,03 мм, который облада-

ет высокой стойкостью против коррозии (ϵ -фаза-твердый раствор на основе нитрида железа Fe_3N , имеющий гексагональную решетку).

Азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную механическую и термическую обработку (закалка с высоким отпуском). После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

Цианирование и нитроцементация.

Цианирование – химико-термическая обработка, при которой поверхность насыщается одновременно углеродом и азотом. Осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например NaCN с добавками солей NaCl , BaCl и др. При окислении цианистого натрия образуется атомарный азот и окись углерода:



Глубина слоя и концентрация в нем углерода и азота зависят от температуры процесса и его продолжительности. Цианированный слой обладает высокой твердостью 58...62 HRC и хорошо сопротивляется износу. Повышаются усталостная прочность и коррозионная стойкость. Продолжительности процесса 0,5...2 часа.

Высокотемпературное цианирование – проводится при температуре 800...950°C, сопровождается преимущественным насыщением стали углеродом до 0,6...1,2 %, (жидкостная цементация). Содержание азота в цианированном слое 0,2...0,6 %, толщина слоя 0,15...2 мм. После цианирования изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. Окончательная структура цианированного слоя состоит из тонкого слоя карбонитридов $\text{Fe}_2(\text{C}, \text{N})$, а затем азотистый мартенсит. По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивает большую твердость и сопротивление износу.

Низкотемпературное цианирование – проводится при температуре 540...600°C, сопровождается преимущественным насыщением стали азотом. Проводится для инструментов из быстрорежущих, высокохромистых сталей, является окончательной обработкой. Основным недостатком цианирования является ядовитость цианистых солей.

Нитроцементация – газовое цианирование, осуществляется в газовых смесях из цементующего газа и диссоциированного аммиака. Состав газа температура процесса определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Глубина слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки.

Высокотемпературная нитроцементация проводится при температуре 830...950°C, для машиностроительных деталей из углеродистых и малолегированных сталей при повышенном содержании аммиака. Завершающей термической обработкой является закалка с низким отпуском. Твердость достигает 56...62 HRC.

Низкотемпературной нитроцементации подвергают инструмент из быстрорежущей стали после термической обработки (закалки и отпуска). Процесс проводят при температуре 530...570°C, в течение 1,5...3 часов. Образуется поверхностный слой толщиной 0,02...0,004 мм с твердостью 900...1200 HV. Нитроцементация характеризуется безопасностью в работе, низкой стоимостью.

Диффузионная металлизация.

Диффузионная металлизация – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами: алюминием, хромом, кремнием, бором и др. При насыщении хромом процесс называют хромированием, алюминием – алитированием, кремнием – силицированием, бором – борированием.

Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах. При твердой диффузионной металлизации металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl_2 образуется соединение хлора с металлом (AlCl_3 , CrCl_2 , SiCl_4), которые при контакте с поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

Жидкая диффузионная металлизация проводится погружением детали в расплавленный металл (например, алюминий).

Газовая диффузионная металлизация проводится в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Диффузия металлов протекает очень медленно, так как образуются растворы замещения, поэтому при одинаковых температурах диффузионные слои в десятки и сотни раз тоньше, чем при цементации. Диффузионная металлизация – процесс дорогостоящий, осуществляется при высоких температурах (1000...1200°С) в течение длительного времени. Одним из основных свойств металлизированных поверхностей является жаростойкость, поэтому жаростойкие детали для рабочих температур 1000...1200°С изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

Исключительно высокой твердостью (2000 HV) и высоким сопротивлением износу из-за образования боридов железа (FeB, FeB₂) характеризуются борированные слои, но эти слои очень хрупкие.

Термомеханическая обработка стали.

Одним из технологических процессов упрочняющей обработки является термомеханическая обработка (ТМО). Термомеханическая обработка относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов. При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка (закалка предварительно деформированной стали в аустенитном состоянии).

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A₃). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке (рис. 3.15 а).

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладоломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

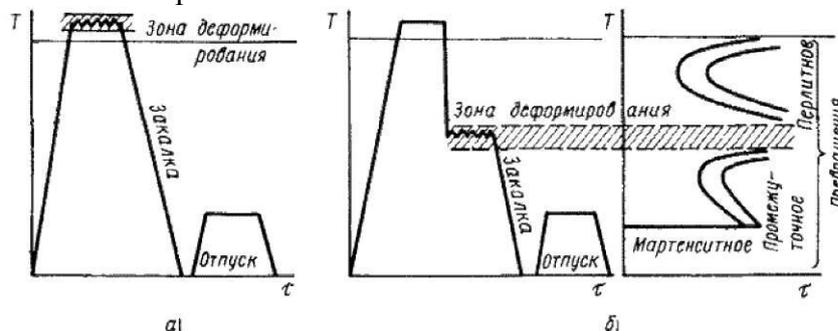


Рис. 3.15. Схема режимов термомеханической обработки стали:
 а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО);
 б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).

Высокотемпературную термомеханическую обработку эффективно использовать для углеродистых, легированных, конструкционных, пружинных и инструментальных сталей.

Последующий отпуск при температуре 100...200°C проводится для сохранения высоких значений прочности.

Низкотемпературная термомеханическая обработка (аусформинг). Сталь нагревают до аустенитного состояния. Затем выдерживают при высокой температуре, производят охлаждение до температуры, выше температуры начала мартенситного превращения (400...600°C), но ниже температуры рекристаллизации, и при этой температуре осуществляют обработку давлением и закалку (рис. 3.15 б).

Низкотемпературная термомеханическая обработка, хотя и дает более высокое упрочнение, но не снижает склонности стали к отпускной хрупкости. Кроме того, она требует высоких степеней деформации (75...95 %), поэтому требуется мощное оборудование. Низкотемпературную термомеханическую обработку применяют к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит, которые имеют вторичную стабильность аустенита. Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два – четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения. Механические свойства после разных видов ТМО для машиностроительных сталей в среднем имеют следующие характеристики (табл. 16.1). Термомеханическую обработку применяют и для других сплавов.

Таблица 16.1. Механические свойства сталей после ТМО

Вид ТМО	σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	ψ , %
НТМО	2400...2900	2000...2400	5...8	15...30
ВТМО	2100...2700	1900...2200	7...9	25... 40
ТО	1400	1100	2	3 (сталь 40 после обычной закалки)

Поверхностное упрочнение стальных деталей.

Конструкционная прочность часто зависит от состояния материала в поверхностных слоях детали. Одним из способов поверхностного упрочнения стальных деталей является поверхностная закалка. В результате поверхностной закалки увеличивается твердость поверхностных слоев изделия с одновременным повышением сопротивления истиранию и предела выносливости.

Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева.

Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газовой-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем.

Закалка токами высокой частоты.

Метод разработан советским ученым Вологдиным В.П. Основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой. Обычно используются машинные генераторы с частотой 50...15000 Гц и ламповые генераторы с частотой больше 106 Гц. Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

Индукторы изготавливаются из медных трубок, внутри которых циркулирует вода, благодаря чему они не нагреваются. Форма индуктора соответствует внешней форме изделия, при этом необходимо постоянство зазора между индуктором и поверхностью изделия. Схема технологического процесса закалки ТВЧ представлена на рис. 3.16.

После нагрева в течение 3...5 с индуктора 2 деталь 1 быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер 3, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость.

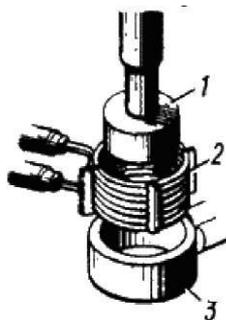


Рис. 3.16. Схема технологического процесса закалки ТВЧ

Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве. При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоиглочатого мартенсита. Твердость повышается на 2...4 HRC по сравнению с обычной закалкой, возрастает износостойкость и предел выносливости.

Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации, а после закалки низкому отпуску при температуре 150...200°C (самоотпуск). Наиболее целесообразно использовать этот метод для изделий из сталей с содержанием углерода более 0,4 %.

Преимущества метода: большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие; более высокие механические свойства; отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали; снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин; возможность автоматизации процесса; использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые; позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов. Целесообразно использовать в серийном и массовом производстве.

Газопламенная закалка.

Нагрев осуществляется ацетиленокислородным, газокислородным пламенем с температурой 3000...3200°C. Структура поверхностного слоя после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, твердость 50...56 HRC.

Метод применяется для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугунных прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах. При нагреве крупных изделий горелки и охлаждающие устройства перемещаются вдоль изделия, или – наоборот.

Недостатки метода: невысокая производительность; сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

Старение.

Отпуск применяется к сплавам, которые подвергнуты закалке с полиморфным превращением. К материалам, подвергнутым закалке без полиморфного превращения, применяется старение. Закалка без полиморфного превращения – термическая обработка, фиксирующая при более низкой температуре состояние, свойственное сплаву при более высоких температурах (пересыщенный твердый раствор).

Старение – термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора. В результате старения происходит изменение свойств закаленных сплавов. В отличие от отпуска, после старения увеличиваются прочность и твердость, и уменьшается пластичность.

Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

В стареющих сплавах выделения из твердых растворов встречаются в следующих основных формах: тонкопластинчатой (дискообразной); равноосной (сферической или кубиче-

ской); игольчатой. Форма выделений определяется конкурирующими факторами: поверхностной энергией и энергией упругой деформации, стремящимися к минимуму.

Поверхностная энергия минимальна для равноосных выделений. Энергия упругих искажений минимальна для выделений в виде тонких пластин. Основное назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств. Различают старение естественное, искусственное и после пластической деформации.

Естественным старением называется самопроизвольное повышение прочности и уменьшение пластичности закаленного сплава, происходящее в процессе его выдержки при нормальной температуре. Нагрев сплава увеличивает подвижность атомов, что ускоряет процесс. Повышение прочности в процессе выдержки при повышенных температурах называется искусственным старением.

Предел прочности, предел текучести и твердость сплава с увеличением продолжительности старения возрастают, достигают максимума и затем снижаются (явление перестаривания). При естественном старении перестаривания не происходит. С повышением температуры стадия перестаривания достигается раньше.

Если закаленный сплав, имеющий структуру пересыщенного твердого раствора, подвергнуть пластической деформации, то также ускоряются процессы, протекающие при старении – это деформационное старение.

Старение охватывает все процессы, происходящие в пересыщенном твердом растворе: процессы, подготавливающие выделение, и сами процессы выделения.

Для практики большое значение имеет инкубационный период – время, в течение которого в закаленном сплаве совершаются подготовительные процессы, когда сохраняется высокая пластичность. Это позволяет проводить холодную деформацию после закалки. Если при старении происходят только процессы выделения, то явление называется дисперсионным твердением.

После старения повышается прочность и снижается пластичность низкоуглеродистых сталей в результате дисперсных выделений в феррите цементита третичного и нитридов. Старение является основным способом упрочнения алюминиевых и медных сплавов, а также многих жаропрочных сплавов.

Обработка стали холодом.

Высокоуглеродистые и многие легированные стали имеют температуру конца мартенситного превращения (M_k) ниже 0°C . Поэтому в структуре стали после закалки наблюдается значительное количество остаточного аустенита, который снижает твердость изделия, а также ухудшает магнитные характеристики. Для устранения аустенита остаточного проводят дополнительное охлаждение детали в области отрицательных температур, до температуры ниже $t. M_k$ (-80°C). Обычно для этого используют сухой лед. Такая обработка называется обработкой стали холодом.

Обработку холодом необходимо проводить сразу после закалки, чтобы не допустить стабилизации аустенита. Увеличение твердости после обработки холодом обычно составляет 1...4 HRC. После обработки холодом сталь подвергают низкому отпуску, так как обработка холодом не снижает внутренних напряжений. Обработке холодом подвергают детали шарикоподшипников, точных механизмов, измерительные инструменты.

Упрочнение методом пластической деформации.

Основное назначение методов механического упрочнения поверхности – повышение усталостной прочности. Методы механического упрочнения – наклепывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм. Разновидностями являются дробеструйная обработка и обработка роликами.

Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей. Осуществляется с помощью специальных дробеструйных установок, выбрасывающих стальную или чугунную дробь на поверхность обрабатываемых деталей. Диаметр дроби – 0,2...4 мм. Удары дроби вызывают пластическую деформацию на глубину 0,2...0,4 мм. Применяют для

упрочнения деталей в канавках, на выступах. Подвергают изделия типа пружин, рессор, звенья цепей, гусениц, гильзы, поршни, зубчатые колеса.

При обработке роликами деформация осуществляется давлением ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия. При усилиях на ролик, превышающих предел текучести обрабатываемого материала, происходит наклеп на нужную глубину. Обработка улучшает микрогеометрию. Создание остаточных напряжений сжатия повышает предел усталости и долговечность изделия. Обкатка роликами применяется при обработке шеек валов, проволоки, при калибровке труб, прутков. Не требуется специальное оборудование, можно использовать токарные или строгальные станки.

Конструкционные стали.

К конструкционным сталям, применяемым для изготовления разнообразных деталей машин, предъявляют следующие требования: сочетание высокой прочности и достаточной вязкости хорошие технологические свойства; экономичность; недефицитность. Высокая конструкционная прочность стали, достигается путем рационального выбора химического состава, режимов термической обработки, методов поверхностного упрочнения, улучшением металлургического качества.

Решающая роль в составе конструкционных сталей отводится углероду. Он увеличивает прочность стали, но снижает пластичность и вязкость, повышает порог хладоломкости. Поэтому его содержание регламентировано и редко превышает 0,6 %.

Влияние на конструкционную прочность оказывают легирующие элементы. Повышение конструкционной прочности при легировании связано с обеспечением высокой прокаливаемости, уменьшением критической скорости закалки, измельчением зерна.

Применение упрочняющей термической обработки улучшает комплекс механических свойств. Металлургическое качество влияет на конструкционную прочность. Чистая сталь при одних и тех же прочностных свойствах имеет повышенные характеристики надежности.

Легированные стали.

Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях с целью изменения ее строения и свойств, называются легирующими элементами, а стали – легированными. Содержание легирующих элементов может изменяться в очень широких пределах: хром или никель – 1% и более процентов; ванадий, молибден, титан, ниобий – 0,1... 0,5%; также кремний и марганец – более 1 %. При содержании легирующих элементов до 0,1 % – микролегирование.

В конструкционных сталях легирование осуществляется с целью улучшения механических свойств (прочности, пластичности). Кроме того меняются физические, химические, эксплуатационные свойства. Легирующие элементы повышают стоимость стали, поэтому их использование должно быть строго обосновано.

Достоинства легированных сталей: особенности обнаруживаются в термически обработанном состоянии, поэтому изготавливаются детали, подвергаемые термической обработке; улучшенные легированные стали обнаруживают более высокие показатели сопротивления пластическим деформациям; легирующие элементы стабилизируют аустенит, поэтому прокаливаемость легированных сталей выше; возможно использование более «мягких» охладителей (снижается брак по закалочным трещинам и короблению), так как тормозится распад аустенита; повышаются запас вязкости и сопротивление хладоломкости, что приводит к повышению надежности деталей машин.

Недостатки: подвержены обратной отпускной хрупкости II рода; в высоколегированных сталях после закалки остается аустенит остаточный, который снижает твердость и сопротивляемость усталости, поэтому требуется дополнительная обработка; склонны к дендритной ликвации, так как скорость диффузии легирующих элементов в железе мала; склонны к образованию флокенов.

Флокены – светлые пятна в изломе в поперечном сечении – мелкие трещины с различной ориентацией. Причина их появления – выделение водорода, растворенного в стали. При быстром охлаждении от 200°C водород остается в стали, выделяясь из твердого раствора, вы-

зывает большое внутреннее давление, приводящее к образованию флокенов. Меры борьбы: уменьшение содержания водорода при выплавке и снижение скорости охлаждения в интервале флокенообразования.

Влияние элементов на полиморфизм железа.

Все элементы, которые растворяются в железе, влияют на температурный интервал существования его аллотропических модификаций ($A_3 = 911^\circ\text{C}$, $A_4 = 1392^\circ\text{C}$). В зависимости от расположения элементов в периодической системе и строения кристаллической решетки легирующего элемента возможны варианты взаимодействия легирующего элемента с железом. Им соответствуют и типы диаграмм состояния сплавов системы железо – легирующий элемент (рис. 3.17)

Большинство элементов или повышают A_4 и снижают A_3 , расширяя существовавшие γ -модификации (рис. 3.17 а), или снижают A_4 и повышают A_3 , сужая область существования γ -модификации (рис. 3.17 б).

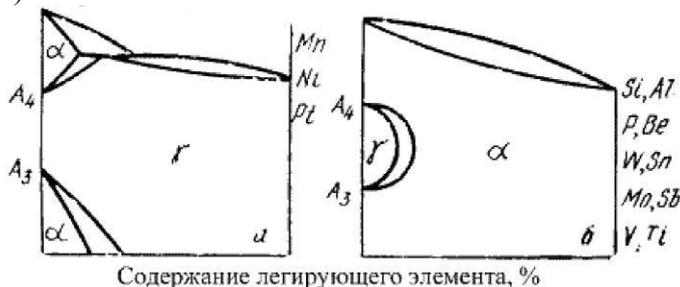


Рис. 3.17. Схематические диаграммы состояния Fe – легирующий элемент:
а – для элементов, расширяющих область существования γ -модификации;
б – для элементов, сужающих область существования γ -модификации

Свыше определенного содержания марганца, никеля и других элементов, имеющих гранцентрированную кубическую решетку, γ -состояние существует как стабильное от комнатной температуры до температуры плавления, такие сплавы на основе железа называются аустенитными.

При содержании ванадия, молибдена, кремния и других элементов, имеющих объемно-центрированную кубическую решетку, выше определенного предела устойчивым при всех температурах является α -состояние. Такие сплавы на основе железа называются ферритными. Аустенитные и ферритные сплавы не имеют превращений при нагреве и охлаждении.

Влияние легирующих элементов на превращение перлита в аустенит.

Легирующие элементы в большинстве случаев растворяются в аустените, образуя твердые растворы замещения. Легированные стали требуют более высоких температур нагрева и более длительной выдержки для получения однородного аустенита, в котором растворяются карбиды легирующих элементов.

Малая склонность к росту аустенитного зерна – технологическое преимущество большинства легированных сталей. Все легирующие элементы снижают склонность аустенитного зерна к росту, кроме марганца и бора. Элементы, не образующие карбидов (кремний, кобальт, медь, никель), слабо влияют на рост зерна. Карбидообразующие элементы (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан) сильно измельчают зерно.

Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита.

По влиянию на устойчивость аустенита и на форму С-образных кривых легирующие элементы разделяются на две группы. Элементы, которые растворяются в феррите и цементите (кобальт, кремний, алюминий, медь, никель), оказывают только количественное влияние на процессы превращения. Замедляют превращение (большинство элементов), или ускоряют его (кобальт) (рис. 3.18 а)

Карбидообразующие элементы (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан) вносят и качественные изменения в кинетику изотермического превращения. При разных температурах они по-разному влияют на скорость распада аустенита: при температуре $700\dots 500^\circ\text{C}$ – замедляют превращение в перлитной области, при температуре $500\dots 400^\circ\text{C}$ (образование

троостита) – очень сильно замедляют превращение, при температуре 400...300°C (промежуточное превращение) – замедляет превращение аустенита в бейнит, но меньше, чем образование троостита.

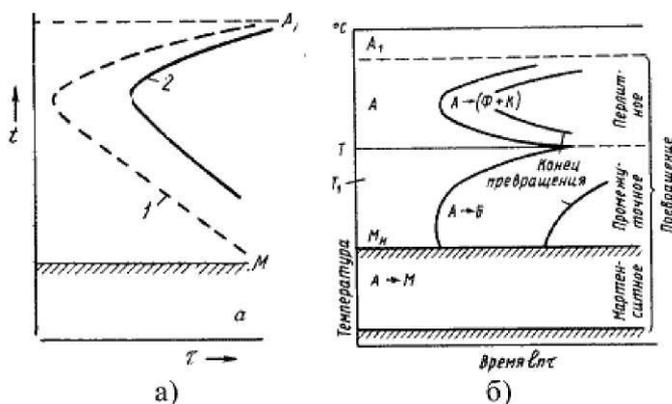


Рис 3.18. Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита: а – некарбидообразующие элементы; б – карбидообразующие элементы

Это отражается на форме С-образных кривых: наблюдаются два максимума скорости изотермического распада, разделенных областью высокой устойчивости переохлажденного аустенита (рис. 17.2 б)

Температура максимальной устойчивости аустенита зависит от карбидообразующего элемента: хром – 400...500°C, вольфрам – 500...550°C, молибден – 550...575°C, ванадий – 575...600°C. Время максимальной устойчивости при заданной температуре возрастает с увеличением степени легированности (очень велико для высоколегированных сталей).

Важным является замедление скорости распада. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении (масло, воздух). Увеличивают прокаливаемость хром, никель, молибден, марганец, особенно при совместном легировании

Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение.

При нагреве большинство легирующих элементов растворяются в аустените. Карбиды титана и ниобия не растворяются. Эти карбиды тормозят рост аустенитного зерна при нагреве и обеспечивают получение мелкоигольчатого мартенсита при закалке. Остальные карбидообразующие элементы, а также некарбидообразующие, при нагреве растворяются в аустените и при закалке образуют легированный мартенсит.

Некоторые легирующие элементы (алюминий, кобальт) повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита, другие не влияют на эту точку (кремний). Большинство элементов снижают мартенситную точку и увеличивают количество остаточного аустенита.

Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске.

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита: никель, марганец – незначительно; хром, молибден, кремний – заметно. Это связано с тем, что процессы при отпуске имеют диффузионный характер, а большинство элементов замедляют карбидное превращение. Легированные стали сохраняют структуру мартенсита отпуска до температуры 400...500°C. Так как в легированных сталях сохраняется значительное количество остаточного аустенита, то превращение его в мартенсит отпуска способствует сохранению твердости до высоких температур. Таким образом, легированные стали при отпуске нагревают до более высоких температур или увеличивают выдержку.

Классификация легированных сталей.

Стали классифицируются по нескольким признакам.

1. По структуре после охлаждения на воздухе выделяются три основных класса сталей: перлитный; мартенситный; аустенитный. Стали перлитного класса характеризуются малым содержанием легирующих элементов; мартенситного – более значительным содержанием; аустенитного – высоким содержанием легирующих элементов.

Классификация связана с кинетикой распада аустенита. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей различных классов представлены на рис. 3.19. По мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения снижается.

Для сталей перлитного класса кривая скорости охлаждения на воздухе пересекает область перлитного распада (рис. 3.19 а), поэтому образуются структуры перлита, сорбита или троостита.

Для сталей мартенситного класса область перлитного распада сдвинута вправо (рис. 3.19 б). Охлаждение на воздухе не приводит к превращению в перлитной области. Аустенит переохлаждается до температуры мартенситного превращения и происходит образование мартенсита.

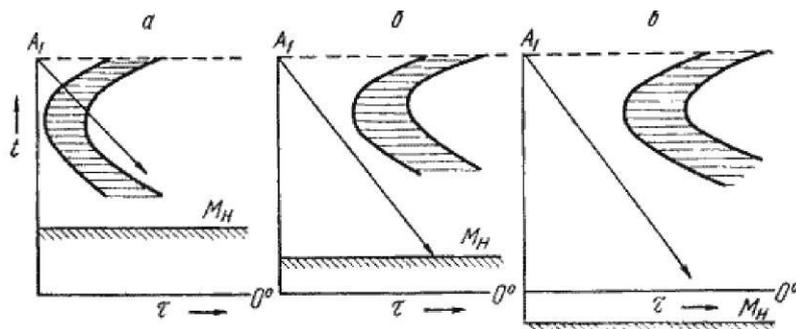


Рис. 3.19. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей перлитного (а), мартенситного (б) и аустенитного (в) классов

Для сталей аустенитного класса увеличение содержания углерода и легирующих элементов сдвигает вправо область перлитного распада, а также снижает мартенситную точку, переводя ее в область отрицательных температур (рис. 3.19 в). Сталь охлаждается на воздухе до комнатной температуры, сохраняя аустенитное состояние.

2. По степени легирования (по содержанию легирующих элементов): низколегированные – 2,5...5 %; среднелегированные – до 10 %; высоколегированные – более 10%.

3. По числу легирующих элементов: трехкомпонентные (железо, углерод, легирующий элемент); четырехкомпонентные (железо, углерод, два легирующих элемента) и так далее.

4. По составу: никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и так далее (признак – наличие тех или иных легирующих элементов).

5. По назначению: конструкционные; инструментальные (режущие, мерительные, штамповые); стали и сплавы с особыми свойствами (резко выраженные свойства – нержавеющие, жаропрочные и термоустойчивые, износоустойчивые, с особыми магнитными и электрическими свойствами).

Классификация конструкционных сталей.

Машиностроительные стали предназначены для изготовления различных деталей машин и механизмов.

Они классифицируются: по химическому составу (углеродистые и легированные); по обработке (цементуемые, улучшаемые); по назначению (пружинные, шарикоподшипниковые).

Углеродистые стали.

Низкоуглеродистые стали 05 кп, 08, 10, 10 пс обладают малой прочностью высокой пластичностью. Применяются без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей – шайб, прокладок и т.п.

Среднеуглеродистые стали 35, 40, 45 применяются после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. В нормализованном состоянии по сравнению с низкоотпущенным обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения наблюдается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки обладают высокой поверхностной твердостью и сопротивлением износу.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70,75 используются как рессорно-пружинные после среднего отпуска. В нормализованном состоянии – для прокатных валков, шпинделей станков.

Достоинства углеродистых качественных сталей – дешевизна и технологичность. Но из-за малой прокаливаемости эти стали не обеспечивают требуемый комплекс механических свойств в деталях сечением более 20 мм.

Цементуемые стали.

Используются для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Детали должны сочетать высокую поверхностную прочность и твердость и достаточную вязкость сердцевинны.

Цементации подвергаются низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25%, что позволяет получить вязкую сердцевину. Для деталей, работающих с большими нагрузками, применяются стали с повышенным содержанием углерода (до 0,35 %). С повышением содержания углерода прочность сердцевинны увеличивается, а вязкость снижается. Детали подвергаются цианированию и нитроцементации.

Цементуемые углеродистые стали 15, 20, 25 используются для изготовления деталей небольшого размера, работающих в условиях изнашивания при малых нагрузках (втулки, валики, оси, шпильки и др.). Твердость на поверхности составляет 60...64 HRC, сердцевина остается мягкой.

Цементуемые легированные стали применяют для более крупных и тяжело нагруженных деталей, в которых необходимо иметь, кроме высокой твердости поверхности, достаточно прочную сердцевину (кулачковые муфты, поршни, пальцы, втулки).

Хромистые стали 15X, 20X используются для изготовления небольших изделий простой формы, цементуемых на глубину $h = 1 \dots 1,5$ мм. При закалке с охлаждением в масле, выполняемой после цементации, сердцевина имеет бейнитное строение. Вследствие этого хромистые стали обладают более высокими прочностными свойствами при несколько меньшей пластичности в сердцевине и большей прочностью в цементованном слое.

Дополнительное легирование хромистых сталей ванадием (сталь 15XФ), способствует получению более мелкого зерна, что улучшает пластичность и вязкость.

Никель увеличивает глубину цементованного слоя, препятствует росту зерна и образованию грубой цементитной сетки, оказывает положительное влияние на свойства сердцевинны. Хромоникелевые стали 20ХН, 12ХН3А применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих на износ при больших нагрузках (зубчатые колеса, шлицевые валы). Одновременное легирование хромом и никелем, который растворяется в феррите, увеличивает прочность, пластичность и вязкость сердцевинны и цементованного слоя. Стали мало чувствительны к перегреву. Большая устойчивость переохлажденного аустенита в области перлитного и промежуточного превращений обеспечивает высокую прокаливаемость хромоникелевых сталей и позволяет проводить закалку крупных деталей с охлаждением в масле и на воздухе.

Стали, дополнительно легированные вольфрамом или молибденом (18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА), применяют для изготовления крупных тяжело нагруженных деталей. Эти стали являются лучшими конструкционными сталями, но дефицитность никеля ограничивает их применение.

Хромомарганцевые стали применяют вместо дорогих хромоникелевых, однако эти стали менее устойчивы к перегреву и имеют меньшую вязкость. Введение небольшого количества титана (0,06...0,12%) уменьшает склонность стали к перегреву (стали 18ХГТ, 30ХГТ).

С целью повышения прочности применяют легирование бором (0,001...0,005 %) 20ХГР, но бор способствует росту зерна при нагреве.

Улучшаемые стали.

Стали, подвергаемые термическому улучшению, широко применяют для изготовления различных деталей, работающих в сложных напряженных условиях (при действии разнообразных нагрузок, в том числе переменных и динамических). Стали приобретают структуру

сорбита, хорошо воспринимающую ударные нагрузки. Важное значение имеет сопротивление хрупкому разрушению. Улучшению подвергаются среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,30...0,50 %.

Улучшаемые углеродистые стали 35, 40, 45 дешевы, из них изготавливают детали, испытывающие небольшие напряжения (сталь 35), и детали, требующие повышенной прочности (стали 40, 45). Но термическое улучшение этих сталей обеспечивает высокий комплекс механических свойств только в деталях небольшого сечения, так как стали обладают низкой прокаливаемостью. Стали этой группы можно использовать и в нормализованном состоянии. Детали, требующие высокой поверхностной твердости при вязкой сердцевине (зубчатые колеса, валы, оси, втулки), подвергаются поверхностной закалке токами высокой частоты. Для снятия напряжений проводят низкий отпуск.

Улучшаемые легированные стали.

Улучшаемые легированные стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей. Стали обладают лучшим комплексом механических свойств: выше прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, ниже порог хладоломкости.

Хромистые стали 30Х, 40Х, 50Х используются для изготовления небольших средненагруженных деталей. Эти стали склонны к отпускной хрупкости, поэтому после высокого отпуска охлаждение должно быть быстрым.

Повышение прокаливаемости достигается микролегированием бором (35ХР). Введение в сталь ванадия значительно увеличивает вязкость (40ХФА).

Хромкремнистые (33ХС) и хромкремниймарганцевые (хромансил) (25ХГСА) стали обладают высокой прочностью и умеренной вязкостью. Стали хромансилы обладают высокой свариваемостью, из них изготавливают стыковочные сварные узлы, кронштейны, крепежные и другие детали. Широко применяются в автомобилестроении и авиации.

Хромоникелевые стали 45ХН, 30ХН3А отличаются хорошей прокаливаемостью, прочностью и вязкостью, но чувствительны к обратимой отпускной хрупкости. Для уменьшения чувствительности вводят молибден или вольфрам. Ванадий способствует измельчению зерна.

Стали 36Х2Н2МФА, 38ХН3ВА др. обладают лучшими свойствами, относятся к мартенситному классу, слабо разупрочняются при нагреве до 300...400 оС. из них изготавливаются валы и роторы турбин, тяжелонагруженные детали редукторов и компрессоров.

Высокопрочные стали.

Высокопрочными называют стали, имеющие предел прочности более 1500 МПа, который достигается подбором химического состава и оптимальной термической обработки. Такой уровень прочности можно получить в среднеуглеродистых легированных сталях, (30ХГСН2А, 40ХН2МА), применяя закалку с низким отпуском (при температуре 200...250°С) или изотермическую закалку с получением структуры нижнего бейнита. После изотермической закалки среднеуглеродистые легированные стали имеют несколько меньшую прочность, но большую пластичность и вязкость. Поэтому они более надежны в работе, чем закаленные и низкоотпущенные.

При высоком уровне прочности закаленные и низкоотпущенные среднеуглеродистые стали обладают повышенной чувствительностью к концентраторам напряжения, склонностью к хрупкому разрушению, поэтому их рекомендуется использовать для работы в условиях плавного нагружения.

Легирование вольфрамом, молибденом, ванадием затрудняет разупрочняющие процессы при температуре 200...300 оС, способствует получению мелкого зерна, понижает порог хладоломкости, повышает сопротивление хрупкому разрушению. Высокая прочность может быть получена и за счет термомеханической обработки.

Стали 30ХГСА, 38ХН3МА после низкотемпературной термомеханической обработки имеют предел прочности 2800 МПа, относительное удлинение и ударная вязкость увеличиваются в два раза по сравнению с обычной термической обработкой. Это связано с тем, что ча-

стичное выделение углерода из аустенита при деформации облегчает подвижность дислокаций внутри кристаллов мартенсита, что способствует увеличению пластичности.

Мартенситно-старееющие стали (03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладоломкости при прочности около 2000 МПа. Мартенситно-старееющие стали представляют собой безуглеродистые сплавы железа с никелем (8..25 %), дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. Благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и малой концентрации углерода в результате закалки в воде или на воздухе фиксируется высокопластичный, но низкопрочный железоникелевый мартенсит, пересыщенный легирующими элементами. Основное упрочнение происходит в процессе старения при температуре 450...550°C за счет выделения из мартенситной матрицы когерентно с ней связанных мелкодисперсных фаз. Мартенситно-старееющие стали обладают высокой конструкционной прочностью в интервале температур от криогенных до 500°C и рекомендуются для изготовления высоконагруженных дисков турбомашин, зубчатых колес, шпинделей, червяков и т.д.

Пружинные стали.

Пружины, рессоры и другие упругие элементы являются важнейшими деталями различных машин и механизмов. В работе они испытывают многократные переменные нагрузки. Под действием нагрузки пружины и рессоры упруго деформируются, а после прекращения действия нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму и размеры. Особенностью работы является то, что при значительных статических и ударных нагрузках они должны испытывать только упругую деформацию, остаточная деформация не допускается. Основные требования к пружинным сталям – обеспечение высоких значений пределов упругости, текучести, выносливости, а также необходимой пластичности и сопротивления хрупкому разрушению, стойкости к релаксации напряжений.

Пружины работают в области упругих деформаций, когда между действующим напряжением и деформацией наблюдается пропорциональность. При длительной работе пропорциональность нарушается из-за перехода части энергии упругой деформации в энергию пластической деформации. Напряжения при этом снижаются. Самопроизвольное снижение напряжений при постоянной суммарной деформации называется релаксацией напряжений. Релаксация приводит к снижению упругости и надежности работы пружин.

Пружины изготавливаются из углеродистых (65, 70) и легированных (60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР) конструкционных сталей. Для упрочнения пружинных углеродистых сталей применяют холодную пластическую деформацию посредством дробеструйной и гидроабразивной обработок, в процессе которых в поверхностном слое деталей наводятся остаточные напряжения сжатия. Повышенные значения предела упругости получают после закалки со средним отпуском при температуре 400...480°C.

Для сталей, используемых для пружин, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость, чтобы получить структуру троостита по всему сечению. Упругие и прочностные свойства пружинных сталей достигаются при изотермической закалке.

Пружинные стали легируют элементами, которые повышают предел упругости – кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом, ванадием, бором. В целях повышения усталостной прочности не допускается обезуглероживание при нагреве под закалку и требуется высокое качество поверхности.

Пружины и другие элементы специального назначения изготавливают из высокохромистых мартенситных (30Х13), мартенситно-старееющих (03Х12Н10Д2Т), аустенитных нержавеющих (12Х18Н10Т), аустенито-мартенситных (09Х15Н8Ю), быстрорежущих (Р18) и других сталей и сплавов.

Шарикоподшипниковые стали.

Шарикоподшипниковые стали подвергаются воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая прочность и износостойкость,

высокий предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, неметаллических включений, полостей, ликваций. Шарикоподшипниковые стали характеризуются высоким содержанием углерода (около 1 %) и наличием хрома (ШХ9, ШХ15).

Высокое содержание углерода и хрома после закалки обеспечивает структуру мартенсит плюс карбиды, высокой твердости, износостойкости, необходимой прокаливаемости. Дальнейшее увеличение прокаливаемости достигается дополнительным легированием марганцем, кремнием (ШХ15СГ).

Повышены требования в отношении чистоты и равномерности распределения карбидов, в противном случае может произойти выкрашивание. Стали подвергаются строгому металлургическому контролю на наличие пористости, неметаллических включений, карбидной сетки, карбидной ликвации.

Термическая обработка включает отжиг, закалку и отпуск. Отжиг проводят послековки для снижения твердости и подготовки структуры к закалке. Температура закалки составляет 790...880°C в зависимости от массивности деталей. Охлаждение – в масле (кольца, ролики), в водном растворе соды или соли (шарики). Отпуск стали проводят при температуре 150...170°C в течение 1...2 часов. Обеспечивается твердость 62...66 HRC.

Из стали ШХ9 изготавливают шарики и ролики небольших размеров, из стали ШХ15 – более крупные. Детали подшипников качения, испытывающие большие динамические нагрузки (подшипники прокатных станов), изготавливают из сталей 20Х2Н4А и 18ХГТ с последующей глубокой цементацией на глубину 5...10 мм. Для деталей подшипников, работающих в азотной кислоте и других агрессивных средах, используется сталь 95Х18.

Стали для изделий, работающих при низких температурах.

Для изделий, работающих при низких температурах, необходимо применять стали с пониженным порогом хладоломкости. Особенно сильно понижены температурные пороги хладоломкости в никельсодержащих сталях. Эффективными материалами являются низколегированные малоуглеродистые стали, которые обладают хорошей свариваемостью. В строительных металлоконструкциях наибольший эффект достигается при использовании термомеханически упрочненного проката.

Для обеспечения высокого комплекса механических свойств деталей машин используются малоуглеродистые стали, легированные элементами способствующими дисперсионному упрочнению и образованию мелкозернистой структуры после термической обработки, 10ХСНД, 15Г2СФ, 12ГН2МФАЮ.

Для работы при сверх низких температурах применяют криогенные стали и сплавы для изготовления емкостей для хранения и перевозки сжиженных газов, имеющих очень низкую температуру кипения (кислород – минус 183°C, водород – минус 253°C). Основными материалами для работы в подобных условиях являются аустенитные стали с повышенным содержанием никеля 10Х14Г14Н4Т, 10Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6.

Износостойкие стали.

Для работы в условиях изнашивания, сопровождаемого большими удельными нагрузками используется высокомарганцевая сталь 110Г13Л, имеющая в своем составе 1...1,4% углерода, 12...14 % марганца. Сталь имеет аустенитную структуру и относительно низкую твердость (200...250 НВ). В процессе работы, когда на деталь действуют высокие нагрузки, которые вызывают в материале напряжения, превосходящие предел текучести, происходит интенсивное наклепывание стали и рост ее твердости и износостойкости. При этом сталь сохраняет высокую вязкость. Благодаря этим свойствам сталь широко используется для изготовления корпусов шаровых мельниц, щек камнедробилок, крестовин рельсов, гусеничных траков, козырьков землечерпалок и т.д. Склонность к интенсивному наклепу является характерной особенностью сталей аустенитного класса.

Автоматные стали.

Автоматными называют стали, обладающие повышенной обрабатываемостью резанием. Эффективным металлургическим приемом повышения обрабатываемости резанием явля-

ется введение в сталь серы, селена, теллура, кальция, которые изменяют состав неметаллических включений, а также свинца, который образует собственные включения.

Автоматные стали А12, А20 с повышенным содержанием серы и фосфора используются для изготовления малонагруженных деталей на станках автоматах (болты, винты, гайки, мелкие детали швейных, текстильных, счетных и других машин). Эти стали обладают улучшенной обрабатываемостью резанием, поверхность деталей получается чистой и ровной. Износостойкость может быть повышена цементацией и закалкой.

Стали А30 и А40Г предназначены для деталей, испытывающих более высокие нагрузки.

У автоматных сталей, содержащих свинец, (АС11, АС40), повышается стойкость инструмента в 1...3 раза и скорость резания на 25...50 %.

Легированные хромистые и хромоникелевые стали с присадкой свинца и кальция (АЦ45Г2, АСЦ30ХМ, АС20ХГНМ) используются для изготовления нагруженных деталей в автомобильной и тракторной промышленности. Автоматные стали подвергают диффузионному отжигу при температуре 1100...1150оС, для устранения ликвации серы.

ТЕМА 4

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия).

Режущие кромки могут нагреваться до температуры 500...900°С, поэтому важным свойством является теплостойкость, т. е., способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве (краснотойкость).

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435).

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,65...1,35% углерода.

Стали У7...У13А – обладают высокой твердостью, хорошо шлифуются, дешевы и не дефицитны.

Из сталей марок У7, У8А изготавливают инструмент для работы по дереву и инструмент ударного действия, когда требуется повышенная вязкость – пуансоны, зубила, штампы, молотки.

Стали марок У9...У12 обладают более высокой твердостью и износостойкостью – используются для изготовления сверл, метчиков, фрез.

Сталь У13 обладает максимальной твердостью, используется для изготовления напильников, граверного инструмента.

Для снижения твердости и создания благоприятной структуры, все инструментальные стали до изготовления инструмента подвергают отжигу. Для заэвтектоидных сталей проводят сфероидизирующий отжиг, в результате которого цементит вторичный приобретает зернистую форму. Регулируя скорость охлаждения можно получить любой размер зерен. Окончательная термическая обработка – закалка с последующим отпуском. Закалку для доэвтектоидных сталей проводят полную, а для заэвтектоидных – неполную. Структура закаленных сталей или мартенсит, или мартенсит и карбиды. Температура отпуска выбирается в зависимости от твердости, необходимой для инструмента.

Для инструментов ударного действия, требующих повышенной вязкости, из сталей У7, У8 отпуск проводят при температуре 280...300оС, что обеспечивает твердость HRC 56...58.

Для напильников, метчиков, плашек отпуск проводят при температуре 150...200°С, при этом обеспечивается получение максимальной твердости — HRC 62...64.

Основными недостатками углеродистых инструментальных сталей является их невысокая прокаливаемость (5...10 мм), низкая теплостойкость (до 200°С), то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания.

Легированные инструментальные стали.

Легированные инструментальные стали содержат 0,9...1,4 % углерода. В качестве легирующих элементов содержат хром, вольфрам, ванадий, марганец, кремний и другие. Общее содержание легирующих элементов до 5%.

Высокая твердость и износостойкость в основном определяются высоким содержанием углерода. Легирование используется для повышения закаляемости и прокаливаемости, сохранения мелкого зерна, повышения прочности и вязкости.

Термическая обработка включает закалку и отпуск. Проводят закалку с температуры 800...850°C в масло или ступенчатую закалку, что уменьшает возможность коробления и образования закалочных трещин. Отпуск проводят низкотемпературный, при температуре 150...200°C, что обеспечивает твердость HRC 61...66. Иногда, для увеличения вязкости, температуру отпуска увеличивают до 300°C, но при этом наблюдается снижение твердости HRC 55...60.

Для деревообрабатывающего инструмента из сталей 6ХС и 9ХФ рекомендуется изотермическая закалка, значительно улучшающая вязкость.

Повышенное содержание кремния (сталь 9ХС) способствует увеличению прокаливаемости до 40 мм и повышению устойчивости мартенсита при отпуске. Недостатками сталей, содержащих кремний, являются чувствительность их к обезуглероживанию при термообработке, плохая обрабатываемость резанием и деформированием из-за упрочнения феррита кремнием.

Повышенное содержание марганца (стали ХВГ, 9ХВСГ) способствует увеличению количества остаточного аустенита, что уменьшает деформацию инструмента при закалке. Это особенно важно для инструмента, имеющего большую длину при малом диаметре, например, протяжек.

Хром увеличивает прокаливаемость и твердость после закалки. Стали используются для изготовления инструмента и ударного, и режущего.

«Алмазная» сталь ХВ5 содержит 5% вольфрама. Благодаря присутствию вольфрама, в термически обработанном состоянии имеет избыточную мелкодисперсную карбидную фазу. Твердость составляет HRC 65...67. Сталь используется для изготовления инструмента, сохраняющего длительное время острую режущую кромку и высокую размерную точность (развертки, фасонные резцы, граверный инструмент).

Быстрорежущие стали.

Быстрорежущие стали получили свое название за свойства. Вследствие высокой теплостойкости (550...650°C), изготовленные из них инструменты могут работать с достаточно высокими скоростями резания.

Стали содержат 0,7...1,5% углерода, до 18% основного легирующего элемента – вольфрама, до 5% хрома и молибдена, до 10% кобальта. Добавление ванадия повышает износостойкость инструмента, но ухудшает шлифуемость. Кобальт повышает теплостойкость до 650°C и вторичную твердость 67...70 HRC.

Микроструктура быстрорежущей стали в литом состоянии имеет эвтектическую структурную составляющую. Для получения оптимальных свойств инструментов из быстрорежущей стали необходимо по возможности устранить структурную неоднородность стали – карбидную ликвацию. Для этого слитки из быстрорежущей стали подвергаются интенсивной пластической деформации (ковке). При этом происходит дробление карбидов эвтектики и достигается более однородное распределение карбидов по сечению заготовки. Затем проводят отжиг стали при температуре 860...900°C. Структура отожженной быстрорежущей стали – мелкозернистый (сорбитообразный) перлит и карбиды, мелкие эвтектоидные и более крупные первичные. Количество карбидов около 25 %. Сталь с такой структурой хорошо обрабатывается резанием. Подавляющее количество легирующих элементов находятся в карбидной фазе.

Для получения оптимальных свойств стали в готовом инструменте необходимо при термической обработке обеспечить максимальное насыщение мартенсита легирующими

элементами. При закалке быстрорежущие стали требуют нагрева до очень высоких температур, около 1280°C. Нагрев осуществляют в хорошо раскисленных соляных ваннах BaCl_2 , что улучшает равномерность прогрева и снижает возможность обезуглероживания поверхности. Для снижения термических фазовых напряжений нагрев осуществляют ступенчато: замедляют нагрев при температурах 600...650°C и при 850...900°C. График режима термической обработки быстрорежущей стали представлен на рис. 4.1.

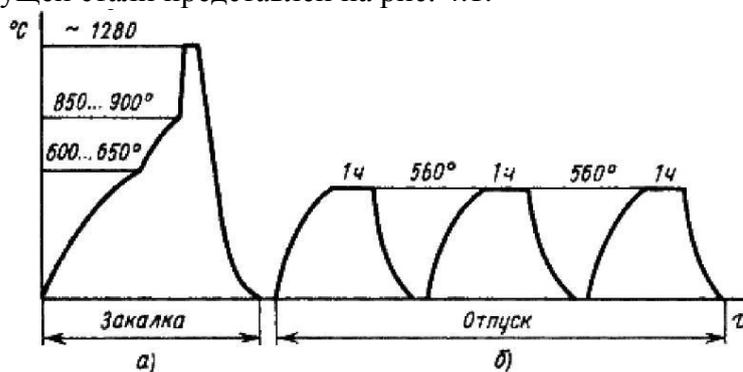


Рис. 4.1. График режима термической обработки быстрорежущей стали

Охлаждение от закалочной температуры производится в масле. Структура стали после закалки состоит из легированного, очень тонкодисперсного мартенсита, значительного количества (30...40 %) остаточного аустенита и карбидов вольфрама. Твердость составляет 60...62 HRC. Наличие аустенита остаточного в структуре закаленной стали ухудшает режущие свойства.

Для максимального удаления аустенита остаточного проводят трехкратный отпуск при температуре 560°C. При нагреве под отпуск выше 400°C наблюдается увеличение твердости. Это объясняется тем, что из легированного остаточного аустенита выделяются легированные карбиды. Аустенит при охлаждении от температуры отпуска превращается в мартенсит отпуска, что вызывает прирост твердости. Увеличению твердости содействуют и выделившиеся при температуре отпуска мелкодисперсные карбиды легирующих элементов. Максимальная твердость достигается при температуре отпуска 560°C.

После однократного отпуска количество аустенита остаточного снижается до 10%. Чтобы уменьшить его количество до минимума, необходим трехкратный отпуск. Твердость стали после отпуска составляет 64...65 HRC. Структура стали после термообработки состоит из мартенсита отпуска и карбидов.

При термической обработке быстрорежущих сталей применяют обработку холодом. После закалки сталь охлаждают до температуры $-80...-100^{\circ}\text{C}$, после этого проводят однократный отпуск при температуре 560°C для снятия напряжений. Иногда для повышения износостойкости быстрорежущих сталей применяют низкотемпературное цианирование.

Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, долбяки, протяжки, метчики машинные, ножи для резки бумаги. Часто из быстрорежущей стали изготавливают только рабочую часть инструмента.

Стали для измерительных инструментов.

Основными требованиями, предъявляемыми к сталям, из которых изготавливаются измерительные инструменты, являются высокая твердость и износостойчивость, стабильность в размерах в течение длительного времени. Последнее требование обеспечивается минимальным температурным коэффициентом линейного расширения и сведением к минимуму структурных превращений во времени.

Для изготовления измерительных инструментов применяются: высокоуглеродистые инструментальные стали, легированные и углеродистые (стали У12, X, X9, XГ), после закалки и стабилизирующего низкотемпературного (120...170°C) отпуска в течение 10...30 ч. До отпуска желательно провести обработку холодом. Получают твердость 62...67 HRC; малоуглеродистые стали (сталь 15, 20) после цементации и закалки с низким отпуском; нитраллои (сталь 38ХМЮА) после азотирования на высокую твердость

Штамповые стали.

Инструмент, применяемый для обработки металлов давлением (штампы, пуансоны, матрицы) изготавливают из штамповых сталей. Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью, вязкостью (чтобы воспринимать ударные нагрузки), сопротивлением пластическим деформациям.

Для штампов небольших размеров (до 25 мм) используют углеродистые инструментальные стали У10, У11, У12 после закалки и низкого отпуска на твердость 57...59 HRC. Это позволяет получить хорошую износостойкость и ударную вязкость.

Для более крупных изделий применяют легированные стали X, X9, X6ВФ. Для повышения износостойкости инструмента после термической обработки проводят цианирование или хромирование рабочих поверхностей. Для уменьшения брака при закалке необходимо медленное охлаждение в области температур мартенситного превращения (например, закалка из воды в масло для углеродистых сталей, ступенчатая закалка для легированных сталей).

Если штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, то используют стали, обладающие большей вязкостью (стали 4ХС4, 5ХНМ). Это достигается снижением содержания углерода, введением легирующих элементов и соответствующей термической обработкой. После закалки проводят высокий отпуск при температуре 480...580°C, что обеспечивает твердость 38...45 HRC.

Стали для штампов горячего деформирования. Дополнительно к общим требованиям, от сталей этой группы требуется устойчивость против образования трещин при многократном нагреве и охлаждении, окалиностойкость, высокая теплопроводность для отвода теплоты от рабочих поверхностей штампа, высокая прокаливаемость для обеспечения высокой прочности по всему сечению инструмента.

Для изготовления молотовых штампов применяют хромоникелевые среднеуглеродистые стали 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХСМФ. Вольфрам и молибден добавляют для снижения склонности к отпускной хрупкости. После термической обработки, включающей закалку с температуры 760...820°C и отпуск при 460...540°C, сталь имеет структуру – сорбит или троостит и сорбит отпуска. Твердость 40...45 HRC.

Штампы горячего прессования работают в более тяжелых условиях. Для их изготовления применяются стали повышенной теплостойкости. Сталь 3Х2В8Ф сохраняет теплостойкость до 650°C, но наличие карбидов вольфрама снижает вязкость. Сталь 4Х5В2ФС имеет высокую вязкость. Повышенное содержание хрома и кремния значительно увеличивает окалиностойкость стали.

Твердые сплавы.

В качестве материалов для инструментов используются твердые сплавы, которые состоят из твердых карбидов и связующей фазы. Они изготавливаются методами порошковой металлургии.

Характерной особенностью твердых сплавов является очень высокая твердость 87...92 HRC при достаточно высокой прочности. Твердость и прочность зависят от количества связующей фазы (кобальта) и величины зерен карбидов. Чем крупнее зерна карбидов, тем выше прочность. Твердые сплавы отличаются большой износостойкостью и теплостойкостью.

Основными твердыми сплавами являются группы ВК (WC + Co), ТК (WC + TiC + Co), ТТК (WC + TiC + TaC + Co). Наиболее распространенными сплавами группы ВК являются сплавы марок ВК3, ВК6, ВК8, ВК20, где число показывает содержание кобальта в процентах, остальное – карбиды вольфрама WC. Сплавы группы ТК марок Т30К6, Т14К8 – первое число показывает содержание карбидов титана в процентах, второе – содержание кобальта в процентах. Сплавы этой группы лучше противостоят изнашиванию, обладают большей твердостью, тепло- и жаростойкостью, стойкостью к коррозии, но меньшей теплопроводностью и большей хрупкостью. Используются на средних и высоких скоростях резания.

Сплавы с малым количеством кобальта обладают повышенной твердостью и износостойкостью, но минимальной прочностью, Поэтому их используют для чистового точения (BK3, T30K4).

Сплавы с повышенным содержанием кобальта используют для чернового точения (BK8, T14K8).

Сплав BK20 начинают использовать для армирования штампов, что повышает их износостойкость.

Износостойкость инструментов из твердых сплавов превышает износостойкость инструментов из быстрорежущих сталей в 10...20 раз и сохраняется до температур 800...1000°C.

Алмаз как материал для изготовления инструментов.

Основное количество алмазов используется в виде алмазного порошка для изготовления алмазно-абразивного инструмента – шлифовальных кругов, притиров, хонов, надфилей и др., для обработки особо твердых металлов и горных пород. Большое значение имеют заточные круги для твердосплавного инструмента, это увеличивает производительность труда и срок службы инструмента. Повышение стойкости твердосплавного инструмента обеспечивается высокой чистотой (отсутствие зазубрин, мелких трещин) лезвия инструмента.

Алмазный инструмент изготавливается в виде алмазосодержащих кругов с бакелитовой или металлической связкой. Также изготавливают алмазные резцы (для обработки корпусов часов), фильеры (для волочения проволоки из высокотвердых и драгоценных металлов) и др.

Коррозия электрохимическая и химическая.

Разрушение металла под воздействием окружающей среды называют коррозией. Коррозия помимо уничтожения металла отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики деталей, содействуя всем видам разрушения. Коррозия в зависимости от характера окружающей среды может быть химической и электрохимической.

Электрохимическая коррозия имеет место в водных растворах, а так же в обыкновенной атмосфере, где имеется влага. Сущность этой коррозии в том, что ионы металла на поверхности детали, имея малую связь с глубинными ионами, легко отрываются от металла молекулами воды.

Металл, потеряв часть положительно заряженных частиц, ионов, заряжается отрицательно за счет избыточного количества оставшихся электронов. Одновременно слой воды, прилегающий к металлу, за счет ионов металла приобретает положительный заряд. Разность зарядов на границе металл – вода обуславливает скачок потенциала, который в процессе коррозии изменяется, увеличиваясь от растворения металла, и уменьшаясь от осаждения ионов из раствора на металле. Если количество ионов переходящих в раствор и осаждающихся на металле одинаково, то скорости растворения и осаждения металла равны и процесс коррозии (разрушения металла) не происходит. Этому соответствует равновесный потенциал.

За нулевой потенциал принимают равновесный потенциал водородного иона H^+ в водном растворе при концентрации положительных ионов водорода, равной 1 моль ионов H^+ на 1 литр. Стандартные потенциалы других элементов измерены по отношению к водородному потенциалу.

Элемент	Потенциал	Элемент	Потенциал
Mg	-1,55 В	Ni	-0,23 В
Al	-1,3 В	H	±0В
Zn	-0,76 В	Cu	+0,34 В
Cr	-0,5 В	Ag	+0,8 В
Fe	-0,44 В	Au	+1,5 В

Металлы, стандартный потенциал которых отрицательный – корродируют в воде, в которой растворен кислород тем активнее, чем отрицательней значение электрохимического потенциала.

Уходящие ионы металла, взаимодействуя с ионами OH^- , образуют гидроксиды, нерастворимые в воде, которые называют ржавчиной, а процесс их образования – ржавлением. Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ в присутствии кислорода, растворенного в воде, превращается в $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Так как это нерастворимое соединение, то равновесный потенциал не может быть достигнут и коррозия будет продолжаться до полного разрушения.

В зависимости от структуры коррозия имеет разное проявление: при однородном металле – коррозия происходит равномерно по всей поверхности. При неоднородном металле – коррозия избирательная и называется точечной. Это явление наиболее опасно, так как приводит к быстрой порче всего изделия. Избирательная коррозия создает очаги концентрации напряжений, что содействует разрушению.

Химическая коррозия может происходить за счет взаимодействия металла с газовой средой при отсутствии влаги. Продуктом коррозии являются оксиды металла. Образуется пленка на поверхности металла толщиной в 1...2 периода кристаллической решетки. Этот слой изолирует металл от кислорода и препятствует дальнейшему окислению, защищает от электрохимической коррозии в воде. При создании коррозионно-стойких сплавов – сплав должен иметь повышенное значение электрохимического потенциала и быть по возможности однофазным.

Классификация коррозионно-стойких сталей и сплавов.

Коррозионная стойкость может быть повышена, если содержание углерода свести до минимума, если ввести легирующий элемент, образующий с железом твердые растворы в таком количестве, при котором скачкообразно повысится электродный потенциал сплава. Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются нержавеющие стали с повышенным содержанием хрома: хромистые и хромоникелевые. На рис. 4.2 показано влияние количества хрома в железохромистых сплавах на электрохимический потенциал сплава.

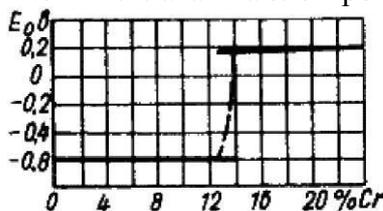


Рис 4.2. Влияние хрома на потенциал сплавов

Хромистые стали.

Содержание хрома должно быть не менее 13% (13...18%). Коррозионная стойкость объясняется образованием на поверхности защитной пленки оксида. Углерод в нержавеющих сталях является нежелательным, так как он обедняет раствор хромом, связывая его в карбиды, и способствует получению двухфазного состояния. Чем ниже содержание углерода, тем выше коррозионная стойкость нержавеющих сталей.

Различают стали ферритного класса 08X13, 12X17, 08X25Т, 15X28. Стали с повышенным содержанием хрома не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не могут быть подвергнуты закалке. Значительным недостатком ферритных хромистых сталей является повышенная хрупкость из-за крупнокристаллической структуры. Эти стали склонны к межкристаллитной коррозии (по границам зерен) из-за обеднения хромом границ зерен. Для избежания этого вводят небольшое количество титана. Межкристаллитная коррозия обусловлена тем, что часть хрома около границ зерна взаимодействует с углеродом и образует карбиды. Концентрация хрома в твердом растворе у границ становится меньше 13% и сталь приобретает отрицательный потенциал.

Из-за склонности к росту зерна ферритные стали требуют строгих режимов сварки и интенсивного охлаждения зоны сварного шва. Недостатком является и склонность к охрупчиванию при нагреве в интервале температур 450...500°C. Из ферритных сталей изготавливают оборудование азотно-кислотных заводов (емкости, трубы). Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей в них добавляют 2...3% никеля. Стали 10X13НЗ,

12X17H2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах.

После закалки от температуры 1000°C и отпуска при 700...750°C предел текучести сталей составляет 1000 МПа. Термическую обработку для ферритных сталей проводят для получения структуры более однородного твердого раствора, что увеличивает коррозионную стойкость.

Стали мартенситного класса 20X13, 30X13, 40X13. После закалки и отпуска при 180...250°C стали 30X13, 40X13 имеют твердость 50...60 HRC и используются для изготовления режущего инструмента (хирургического), пружин для работы при температуре 400...450°C, предметов домашнего обихода.

Стали аустенитного класса – высоколегированные хромоникелевые стали. Никель – аустенитообразующий элемент, сильно понижающий критические точки $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. После охлаждения на воздухе до комнатной температуры имеет структуру аустенита.

Нержавеющие стали аустенитного класса 04X18H10, 12X18H9T имеют более высокую коррозионную стойкость, лучшие технологические свойства по сравнению с хромистыми нержавеющими сталями, лучше свариваются. Они сохраняют прочность до более высоких температур, менее склонны к росту зерна при нагреве и не теряют пластичности при низких температурах.

Хромоникелевые стали коррозионноустойчивы в окислительных средах. Основным элементом является хром, никель только повышает коррозионную стойкость. Для большей гомогенности хромоникелевые стали подвергают закалке с температуры 1050...1100°C в воде. При нагреве происходит растворение карбидов хрома в аустените. Выделение их из аустенита при закалке исключено, так как скорость охлаждения велика.

Получают предел прочности 500...600 МПа, и высокие характеристики пластичности, относительное удлинение 35...45%. Упрочняют аустенитные стали холодной пластической деформацией, что вызывает эффект наклепа. Предел текучести при этом может достигнуть значений 1000...1200 МПа, а предел прочности – 1200...1400 МПа. Для уменьшения дефицитного никеля часть его заменяют марганцем (сталь 40X14Г14Н3Т) или азотом (сталь 10X20H4AГ11).

Аустенитно-ферритные стали 12X21H5T, 08X22H6T являются заменителями хромоникелевых сталей с целью экономии никеля. Свойства сталей зависят от соотношения ферритной и аустенитной фаз (оптимальные свойства получают при соотношении – Ф:А = 1:1). Термическая обработка сталей включает закалку от температуры 1100...1150°C и отпуск-старение при температуре 500...750°C. Аустенитно-ферритные стали не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением: трещины могут возникать только на аустенитных участках, но ферритные участки задерживают их развитие. При комнатных температурах аустенитно-ферритные стали имеют твердость и прочность выше, а пластичность и ударную вязкость ниже, чем стали аустенитного класса.

Кроме нержавеющих сталей в промышленности применяют коррозионно-стойкие сплавы – это сплавы на никелевой основе. Сплавы типа хастеллой содержат до 80% никеля, другим элементом является молибден в количестве до 15...30%. Сплавы являются коррозионно-стойкими в особо агрессивных средах (кипящая фосфорная или соляная кислота), обладают высокими механическими свойствами. После термической обработки – закалки и старения при температуре 800°C – сплавы имеют предел прочности МПа, и твердость. Недостатком является склонность к межкристаллической коррозии, поэтому содержание углерода в этих сплавах должно быть минимальным.

Жаростойкость, жаростойкие стали и сплавы.

Жаростойкость (окалиностойкость) – это способность металлов и сплавов сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах в течение длительного времени. Если изделие работает в окислительной газовой среде при температуре 500...550°C без больших нагрузок, то достаточно, чтобы они были только жаростойкими (например, детали нагревательных печей).

Сплавы на основе железа при температурах выше 570°С интенсивно окисляются, так как образующаяся в этих условиях на поверхности металла оксид железа (вюстит) с простой решеткой, имеющей дефицит атомов кислорода (твердый раствор вычитания), не препятствует диффузии кислорода и металла. Происходит интенсивное образование хрупкой окалины.

Для повышения жаростойкости в состав стали вводят элементы, которые образуют с кислородом оксиды с плотным строением кристаллической решетки (хром, кремний, алюминий). Степень легированности стали, для предотвращения окисления, зависит от температуры. Влияние хрома на жаростойкость хромистой стали показано на рис. 4.3.

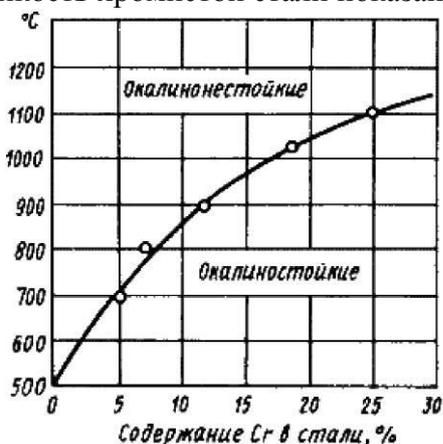


Рис. 4.3. Влияние хрома на жаростойкость хромистой стали

Чем выше содержание хрома, тем более окалиностойки стали (например, сталь 15X25T является окалиностойкой до температуры 1100...1150°С). Высокой жаростойкостью обладают сильхромы, сплавы на основе никеля – нихромы, стали 08X17T, 36X18H25C2, 15X6СЮ.

Жаропрочность, жаропрочные стали и сплавы.

Жаропрочность – это способность металла сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах. Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах, когда имеет место явление ползучести. Критериями оценки жаропрочности являются кратковременная и длительная прочности, ползучесть. Кратковременная прочность определяется с помощью испытаний на растяжение разрывных образцов. Образцы помещают в печь и испытывают при заданной температуре. Прочность зависит от продолжительности испытаний.

Пределом длительной прочности называется максимальное напряжение, которое вызывает разрушение образца при заданной температуре за определенное время. Например 200 МПа, верхний индекс означает температуру испытаний, а нижний – заданную продолжительность испытания в часах. Для котельных установок требуется невысокое значение прочности, но в течение нескольких лет.

Ползучесть – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре. При испытаниях образцы помещают в печь с заданной температурой и прикладывают постоянную нагрузку. Измеряют деформацию индикаторами. При обычной температуре и напряжениях выше предела упругости ползучесть не наблюдается, а при температуре выше $0,6T_{пл}$, когда протекают процессы разупрочнения, и при напряжениях выше предела упругости наблюдается ползучесть. В зависимости от температуры скорость деформации при постоянной нагрузке выражается кривой состоящей из трех участков (рис. 4.4):

1. OA – упругая деформация образца в момент приложения нагрузки;
2. AB – участок, соответствующий начальной скорости ползучести;
3. BC – участок установившейся скорости ползучести, когда удлинение имеет постоянную скорость.

Если напряжения достаточно велики, то протекает третья стадия (участок CD), связанная с началом разрушения образца (образование шейки).

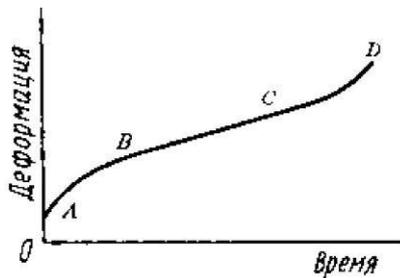


Рис. 4.4. Кривая ползучести

Для углеродистых сталей ползучесть наблюдается при нагреве выше 400°C . Предел ползучести – напряжение, которое за определенное время при заданной температуре вызывает заданное суммарное удлинение или заданную скорость деформации.

Классификация жаропрочных сталей и сплавов.

В качестве современных жаропрочных материалов можно отметить перлитные, мартенситные и аустенитные жаропрочные стали, никелевые и кобальтовые жаропрочные сплавы, тугоплавкие металлы. При температурах до 300°C обычные конструкционные стали имеют высокую прочность, нет необходимости использовать высоколегированные стали. Для работы в интервале температур $350\dots 500^{\circ}\text{C}$ применяют легированные стали перлитного, ферритного и мартенситного классов.

Перлитные жаропрочные стали. К этой группе относятся котельные стали и силхромы. Эти стали применяются для изготовления деталей котельных агрегатов, паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания. Стали содержат относительно мало углерода.

Легирование сталей хромом, молибденом и ванадием производится для повышения температуры рекристаллизации (марки 12Х1МФ, 20Х3МФ). Используются в закаленном и высокоотпущенном состоянии. Иногда закалку заменяют нормализацией. В результате этого образуются пластинчатые продукты превращения аустенита, которые обеспечивают более высокую жаропрочность. Предел ползучести этих сталей должен обеспечить остаточную деформацию в пределах 1 % за время $10000\dots 100000$ ч работы. Перлитные стали обладают удовлетворительной свариваемостью, поэтому используются для сварных конструкций (например, трубы пароперегревателей).

Для деталей газовых турбин применяют сложнелегированные *стали мартенситного класса* 12Х2МФСР, 12Х2МФБ, 15Х12ВНМФ. Увеличение содержания хрома повышает жаростойкость сталей. Хром, вольфрам, молибден и ванадий повышают температуру рекристаллизации, образуются карбиды, повышающие прочность после термической обработки. Термическая обработка состоит из закалки от температур выше 1000°C в масле или на воздухе и высокого отпуска при температурах выше температуры эксплуатации.

Для изготовления жаропрочных деталей, не требующих сварки (клапаны двигателей внутреннего сгорания), применяются хромокремнистые стали – *силхромы*: 40Х10С2М, 40Х9С2, Х6С. Жаропрочные свойства растут с увеличением степени легированности. Силхромы подвергаются закалке от температуры около 1000°C и отпуску при температуре $720\dots 780^{\circ}\text{C}$.

При рабочих температурах $500\dots 700^{\circ}\text{C}$ применяются *стали аустенитного класса*. Из этих сталей изготавливают клапаны двигателей, лопатки газовых турбин, сопловые аппараты реактивных двигателей и т.д. Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали, дополнительно легированные вольфрамом, молибденом, ванадием и другими элементами. Стали содержат 15...20 % хрома и 10...20 % никеля. Обладают жаропрочностью и жаростойкостью, пластичны, хорошо свариваются, но затруднена обработка резанием и давлением, охрупчиваются в интервале температур около 600°C , из-за выделения по границам различных фаз.

По структуре стали подразделяются на две группы:

1. *Аустенитные стали с гомогенной структурой* 17Х18Н9, 09Х14Н19В2БР1, 12Х18Н12Т. Содержание углерода в этих сталях минимальное. Для создания большей одно-

родности аустенита стали подвергаются закалке с 1050...1100°C в воде, затем для стабилизации структуры – отпуску при 750°C.

2. *Аустенитные стали с гетерогенной структурой* 37X12H8Г8МФБ, 10X11H20ТЗР. Термическая обработка сталей включает закалку с 1050...1100°C. После закалки старение при температуре выше эксплуатационной (600...750°C). В процессе выдержки при этих температурах в дисперсном виде выделяются карбиды, карбонитриды, вследствие чего прочность стали повышается.

Детали, работающие при температурах 700...900°C, изготавливают из сплавов на основе никеля и кобальта (например, турбины реактивных двигателей).

Никелевые сплавы преимущественно применяют в деформированном виде. Они содержат более 55 % никеля и минимальное количество углерода (0,06...0,12 %). По жаропрочным свойствам превосходят лучшие жаропрочные стали. По структуре никелевые сплавы разделяют на гомогенные (нихромы) и гетерогенные (нимоники).

Нихромы. Основой этих сплавов является никель, а основным легирующим элементом – хром (ХН60Ю, ХН78Т). Нихромы не обладают высокой жаропрочностью, но они очень жаростойки. Их применяют для малонагруженных деталей, работающих в окислительных средах, в том числе и для нагревательных элементов.

Нимоники являются четвертными сплавами никель – хром (около 20 %) – титан (около 2%) – алюминий (около 1 %) (ХН77ТЮ, ХН70МВТЮБ, ХН55ВМТФКЮ). Используются только в термически обработанном состоянии. Термическая обработка состоит из закалки с 1050...1150°C на воздухе и отпуски – старения при 600...800°C.

Увеличение жаропрочности сложнолегируемых никелевых сплавов достигается упрочнением твердого раствора введением кобальта, молибдена, вольфрама. Основными материалами, которые могут работать при температурах выше 900°C (до 2500°C), являются сплавы на основе тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, ниобия и других.

Температуры плавления основных тугоплавких металлов: вольфрам – 3400°C, тантал – 3000°C, молибден – 2640°C, ниобий – 2415°C, хром – 1900°C. Высокая жаропрочность таких металлов обусловлена большими силами межатомных связей в кристаллической решетке и высокими температурами рекристаллизации.

Наиболее часто применяют сплавы на основе молибдена. В качестве легирующих добавок в сплавы вводят титан, цирконий, ниобий. С целью защиты от окисления проводят силицирование, на поверхности сплавов образуется слой $MoSi_2$ толщиной 0,03...0,04 мм. При температуре 1700°C силицированные детали могут работать 30 часов.

Вольфрам – наиболее тугоплавкий металл. Его используют в качестве легирующего элемента в сталях и сплавах различного назначения, в электротехнике и электронике (нити накала, нагреватели в вакуумных приборах). В качестве легирующих элементов к вольфраму добавляют молибден, рений, тантал. Сплавы вольфрама с рением сохраняют пластичность до -196°C и имеют предел прочности 150 МПа при температуре 1800°C. Для сплавов на основе вольфрама характерна низкая жаростойкость, пленки образующихся оксидов превышают объем металла более, чем в три раза, поэтому они растрескиваются и отслаиваются (Изготавливают изделия, работающие в вакууме).

Медь и ее сплавы.

Цветные металлы являются более дорогими и дефицитными по сравнению с черными металлами, однако область их применения в технике непрерывно расширяется. Это сплавы на основе титана, алюминия, магния, меди. Переход промышленности на сплавы из легких металлов значительно расширяет сырьевую базу. Титан, алюминий, магний можно получать из бедных и сложных по составу руд, отходов производства.

Титан и его сплавы.

Титан серебристо-белый легкий металл с плотностью 4,5 г/см³. Температура плавления титана зависит от степени чистоты и находится в пределах 1660...1680°C. Чистый иодидный титан, в котором сумма примесей составляют 0,05...0,1 %, имеет модуль упругости 112000 МПа, предел прочности около 300 МПа, относительное удлинение 65%. Наличие примесей

сильно влияет на свойства. Для технического титана ВТ1, с суммарным содержанием примесей 0,8 %, предел прочности составляет 650 МПа, а относительное удлинение – 20 %.

При температуре 882°C титан претерпевает полиморфное превращение α -титан с гексагональной решеткой переходит в β -титан с объемно-центрированной кубической решеткой. Наличие полиморфизма у титана создает предпосылки для улучшения свойств титановых сплавов с помощью термической обработки.

Титан имеет низкую теплопроводность. При нормальной температуре обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, в воде, в органических и неорганических кислотах (не стоек в плавиковой, крепких серной и азотной кислотах), благодаря тому, что на воздухе быстро покрывается защитной пленкой плотных оксидов. При нагреве выше 500°C становится очень активным элементом. Он либо растворяет почти все соприкасающиеся и ним вещества, либо образует с ними химические соединения.

Титановые сплавы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими: сочетание высокой прочности (800...1000 МПа) с хорошей пластичностью (12...25%); малая плотность, обеспечивающая высокую удельную прочность; хорошая жаропрочность, до 600...700°C; высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах. Однородные титановые сплавы, не подверженные старению, используют в криогенных установках до гелиевых температур.

В результате легирования титановых сплавов можно получить нужный комплекс свойств. Легирующие элементы, входящие в состав промышленных титановых сплавов, образуют с титаном твердые растворы замещения и изменяют температуру аллотропического превращения. Влияние легирующих элементов на полиморфизм титана показано на рис. 4.5.

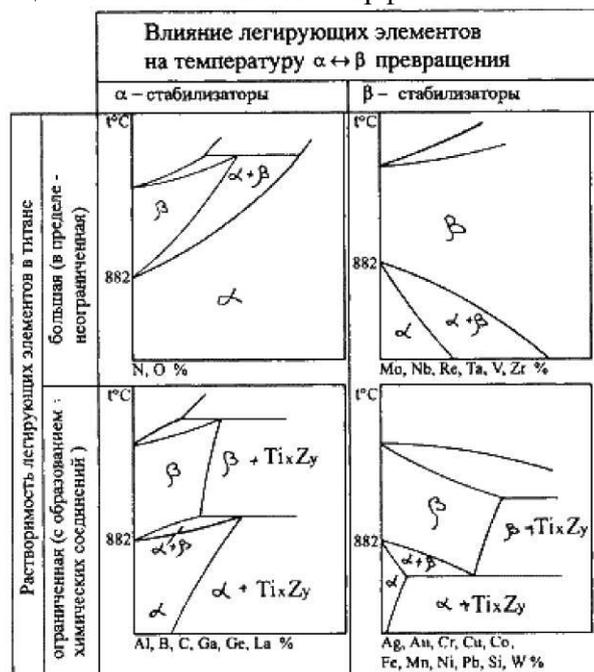


Рис. 4.5. Влияние легирующих элементов на полиморфизм титана

Элементы, повышающие температуру превращения, способствуют стабилизации α -твердого раствора и называются α -стабилизаторами, это – алюминий, кислород, азот, углерод.

Элементы, понижающие температуру превращения, способствуют стабилизации β -твердого раствора и называются β -стабилизаторами, это – молибден, ванадий, хром, железо.

Кроме α - и β -стабилизаторов различают нейтральные упрочнители: олово, цирконий, гафний. В соответствии с влиянием легирующих элементов титановые сплавы при нормальной температуре могут иметь структуру α или $\alpha + \beta$.

Сплавы на основе титана можно подвергать всем видам термической обработки, химико-термической и термомеханической обработке. Упрочнение титановых сплавов достигается легированием, наклепом, термической обработкой.

Часто титановые сплавы легируют алюминием, он увеличивает прочность и жаропрочность, уменьшает вредное влияние водорода, увеличивает термическую стабильность. Для повышения износостойкости титановых сплавов их подвергают цементации или азотированию.

Основным недостатком титановых сплавов является плохая обрабатываемость режущим инструментом. По способу производства деталей различаются деформируемые (ВТ 9, ВТ 18) и литейные (ВТ 21Л, ВТ 31Л) сплавы.

Области применения титановых сплавов: авиация и ракетостроение (корпуса двигателей, баллоны для газов, сопла, диски, детали крепежа); химическая промышленность (компрессоры, клапаны, вентили для агрессивных жидкостей); оборудование для обработки ядерного топлива; морское и речное судостроение (гребные винты, обшивка морских судов, подводных лодок); криогенная техника (высокая ударная вязкость сохраняется до -253°C).

Алюминий и его сплавы.

Алюминий – легкий металл с плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 660°C . Имеет гранцентрированную кубическую решетку. Обладает высокой тепло- и электропроводностью. Химически активен, но образующаяся плотная пленка оксида алюминия Al_2O_3 , предохраняет его от коррозии. Механические свойства: предел прочности 150 МПа, относительное удлинение 50 %, модуль упругости 7000 МПа.

Алюминий высокой чистоты маркируется А99 (99,999% Al), А8, А7, А6, А5, А0 (содержание алюминия от 99,85 % до 99 %).

Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают строительные конструкции, малонагруженные детали машин, используют в качестве электротехнического материала для кабелей, проводов.

Принцип маркировки алюминиевых сплавов. В начале указывается тип сплава: Д – сплавы типа дюралюминов; А – технический алюминий; АК – ковкие алюминиевые сплавы; В – высокопрочные сплавы; АЛ – литейные сплавы. Далее указывается условный номер сплава. За условным номером следует обозначение, характеризующее состояние сплава: М – мягкий (отожженный); Т – термически обработанный (закалка плюс старение); Н – нагартованный; П – полунагартованный.

По технологическим свойствам сплавы подразделяются на три группы: деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой: деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой; литейные сплавы. Методами порошковой металлургии изготавливают спеченные алюминиевые сплавы (САС) и спеченные алюминиевые порошковые сплавы (САП).

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой. Прочность алюминия можно повысить легированием. В сплавы, не упрочняемые термической обработкой, вводят марганец или магний. Атомы этих элементов существенно повышают его прочность, снижая пластичность. Обозначаются сплавы: с марганцем – АМц, с магнием – АМг; после обозначения элемента указывается его содержание (АМг3). Магний действует только как упрочнитель, марганец упрочняет и повышает коррозионную стойкость. Прочность сплавов повышается только в результате деформации в холодном состоянии. Чем больше степень деформации, тем значительно растет прочность и снижается пластичность. В зависимости от степени упрочнения различают сплавы нагартованные и полунагартованные (АМг3П). Эти сплавы применяют для изготовления различных сварных емкостей для горючего, азотной и других кислот, мало- и средненагруженных конструкций.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой. К таким сплавам относятся дюралюмины (сложные сплавы систем алюминий-медь-магний или алюминий-медь-магний-цинк). Они имеют пониженную коррозионную стойкость, для повышения которой вводится марганец. Дюралюмины обычно подвергаются закалке с температуры 500°C и естественному старению, которому предшествует двух-, трехчасовой инкубационный период. Максимальная прочность достигается через 4...5 суток. Широкое применение дюралюмины находят в авиастроении, автомобилестроении, строительстве.

Высокопрочными стареющими сплавами являются сплавы, которые кроме меди и магния содержат цинк. Сплавы В95, В96 имеют предел прочности около 650 МПа. Основным потребителем – авиастроение (обшивки, стрингеры, лонжероны).

Ковочные алюминиевые сплавы АК, АК8 применяются для изготовления поковок. Поковки изготавливаются при температуре 380...450°C, подвергаются закалке от температуры 500...560°C и старению при 150...165°C в течение 6...15 часов.

В состав алюминиевых сплавов дополнительно вводят никель, железо, титан, которые повышают температуру рекристаллизации и жаропрочность до 300°C. Изготавливают поршни, лопатки и диски осевых компрессоров, турбореактивных двигателей.

Литейные алюминиевые сплавы. К литейным сплавам относятся сплавы системы алюминий – кремний (силумины), содержащие 10...13 % кремния. Присадка к силуминам магния, меди содействует эффекту упрочнения литейных сплавов при старении. Титан и цирконий измельчают зерно. Марганец повышает антикоррозионные свойства. Никель и железо повышают жаропрочность. Литейные сплавы маркируются от АЛ2 до АЛ20. Силумины широко применяют для изготовления литых деталей приборов и других средне- и малонагруженных деталей, в том числе тонкостенных отливок сложной формы.

Магний и его сплавы.

Магний – очень легкий металл, его плотность – 1,74 г/см³. Температура плавления – 650°C. Магний имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку. Очень активен химически, вплоть до самовозгорания на воздухе. Механические свойства технического чистого магния (Mg1): предел прочности – 190 МПа, относительное удлинение – 18 %, модуль упругости – 4500 МПа.

Основными магниевыми сплавами являются сплавы магния с алюминием, цинком, марганцем, цирконием. Сплавы делятся на деформируемые и литейные. Сплавы упрочняются после закалки и искусственного старения. Закалку проводят от температуры 380...420°C, старение при температуре 260...300°C в течение 10...24 часов. Особенностью является длительная выдержка под закалку – 4...24 часа.

Деформируемые магниевые сплавы. Магний плохо деформируется при нормальной температуре. Пластичность сплавов значительно увеличивается при горячей обработке давлением (360...520°C). Деформируемые сплавы маркируют МА1, МА8, МА9, ВМ 5-1. Из деформируемых магниевых сплавов изготавливают детали автомашин, самолетов, прядильных и ткацких станков. В большинстве случаев эти сплавы обладают удовлетворительной свариваемостью.

Литейные магниевые сплавы. Литейные сплавы маркируются МЛ3, МЛ5, ВМЛ-1. Последний сплав является жаропрочным, может работать при температурах до 300°C. Отливки изготавливают литьем в землю, в кокиль, под давлением. Необходимы меры, предотвращающие загорание сплава при плавке, в процессе литья. Из литейных сплавов изготавливают детали двигателей, приборов, телевизоров, швейных машин. Магниевые сплавы, благодаря высокой удельной прочности широко используются в самолето- и ракетостроении.

Медь и ее сплавы.

Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку. Плотность меди 8,94 г/см³, температура плавления 1083°C. Характерным свойством меди является ее высокая электропроводность, поэтому она находит широкое применение в электротехнике. Технически чистая медь маркируется: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М2, М3 и М4 (99 % Cu).

Механические свойства меди относительно низкие: предел прочности составляет 150...200 МПа, относительное удлинение – 15...25 %. Поэтому в качестве конструкционного материала медь применяется редко. Повышение механических свойств достигается созданием различных сплавов на основе меди. Различают две группы медных сплавов: латуни – сплавы меди с цинком, бронзы – сплавы меди с другими (кроме цинка) элементами.

Латуни могут иметь в своем составе до 45 % цинка. Повышение содержания цинка до 45 % приводит к увеличению предела прочности до 450 МПа. Максимальная пластичность имеет место при содержании цинка около 37 %. При сплавлении меди с цинком образуется ряд твердых растворов (рис. 4.6).

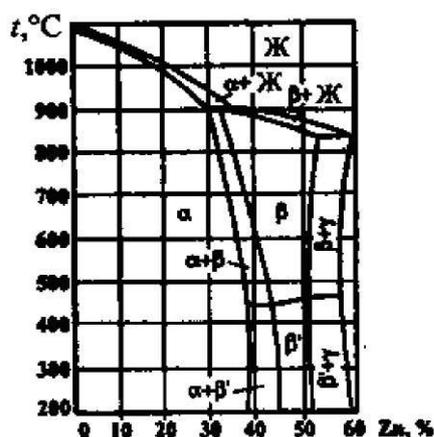


Рис. 4.6. Диаграмма состояния медь-цинк

Из диаграммы состояния медь-цинк видно, что в зависимости от состава имеются однофазные латуни, состоящие из α -твердого раствора, и двухфазные ($\alpha+\beta$)-латуни. По способу изготовления изделий различают латуни деформируемые и литейные.

Деформируемые латуни маркируются буквой Л, за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах, например в латуни Л62 содержится 62% меди и 38% цинка. Если кроме меди и цинка, имеются другие элементы, то ставятся их начальные буквы (О – олово, С – свинец, Ж – железо, Ф – фосфор, Мц – марганец, А – алюминий, Ц – цинк). Количество этих элементов обозначается соответствующими цифрами после числа, показывающего содержание меди, например, сплав ЛАЖ60-1-1 содержит 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и 38 % цинка.

Однофазные α -латуни используются для изготовления деталей деформированием в холодном состоянии. Изготавливают ленты, гильзы патронов, радиаторные трубки, проволоку.

Для изготовления деталей деформированием при температуре выше 500°C используют ($\alpha+\beta$)-латуни. Из двухфазных латуней изготавливают листы, прутки и другие заготовки, из которых последующей механической обработкой изготавливают детали. Обрабатываемость резанием улучшается присадкой в состав латуни свинца, например, латунь марки ЛС59-1, которую называют «автоматной латунью».

Латуни имеют хорошую коррозионную стойкость, которую можно повысить дополнительно присадкой олова. Латунь ЛО70-1 стойка против коррозии в морской воде и называется «морской латунью».

Добавка никеля и железа повышает механическую прочность до 550 МПа.

Литейные латуни также маркируются буквой Л, После буквенного обозначения основного легирующего элемента (цинк) и каждого последующего ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве. Например, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца. Наилучшей жидкотекучестью обладает латунь марки ЛЦ16К4. К литейным латуням относятся латуни типа ЛС, ЛК, ЛА, ЛАЖ, ЛАЖМц. Литейные латуни не склонны к ликвации, имеют сосредоточенную усадку, отливки получаются с высокой плотностью. Латуни являются хорошим материалом для конструкций, работающих при отрицательных температурах.

Бронзы. Сплавы меди с другими элементами кроме цинка называются бронзами. Бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

При маркировке деформируемых бронз на первом месте ставятся буквы Бр, затем буквы, указывающие, какие элементы, кроме меди, входят в состав сплава. После букв идут цифры, показывающие содержание компонентов в сплаве. Например, марка БрОФ10-1 означает, что в бронзу входит 10 % олова, 1 % фосфора, остальное – медь.

Маркировка литейных бронз также начинается с букв Бр, затем указываются буквенные обозначения легирующих элементов и ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве. Например, бронза БрО3Ц12С5 содержит 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца, остальное – медь.

Оловянные бронзы. При сплавлении меди с оловом образуются твердые растворы. Эти сплавы очень склонны к ликвации из-за большого температурного интервала кристаллизации. Благодаря ликвации сплавы с содержанием олова выше 5 % имеют в структуре эвтектидную составляющую Э($\alpha+\delta$), состоящую из мягкой и твердой фаз. Такое строение является благоприятным для деталей типа подшипников скольжения: мягкая фаза обеспечивает хорошую прирабатываемость, твердые частицы создают износостойкость. Поэтому оловянные бронзы являются хорошими антифрикционными материалами. Оловянные бронзы имеют низкую объемную усадку (около 0,8 %), поэтому используются в художественном литье. Наличие фосфора обеспечивает хорошую жидкотекучесть. Оловянные бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

В деформируемых бронзах содержание олова не должно превышать 6 %, для обеспечения необходимой пластичности, БрОФ6,5-0,15. В зависимости от состава деформируемые бронзы отличаются высокими механическими, антикоррозионными, антифрикционными и упругими свойствами, и используются в различных отраслях промышленности. Из этих сплавов изготавливают прутки, трубы, ленту, проволоку.

Литейные оловянные бронзы, БрОЗЦ7С5Н1, БрО4Ц4С17, применяются для изготовления пароводяной арматуры и для отливок антифрикционных деталей типа втулок, венцов червячных колес, вкладышей подшипников.

Алюминиевые бронзы, БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4. Бронзы с содержанием алюминия до 9,4 % имеют однофазное строение α -твердого раствора. При содержании алюминия 9,4...15,6 % сплавы системы медь – алюминий двухфазные и состоят из α - и γ -фаз. Оптимальными свойствами обладают алюминиевые бронзы, содержащие 5...8% алюминия. Увеличение содержания алюминия до 10...11% вследствие появления λ -фазы ведет к резкому повышению прочности и сильному снижению пластичности. Дополнительное повышение прочности для сплавов с содержанием алюминия 8...9,5% можно достичь закалкой.

Положительные особенности алюминиевых бронз по сравнению с оловянными: меньшая склонность к внутрикристаллической ликвации; большая плотность отливок; более высокая прочность и жаропрочность; меньшая склонность к хладоломкости.

Основные недостатки алюминиевых бронз: значительная усадка; склонность к образованию столбчатых кристаллов при кристаллизации и росту зерна при нагреве, что охрупчивает сплав; сильное газопоглощение жидкого расплава; самоотпуск при медленном охлаждении; недостаточная коррозионная стойкость в перегретом паре. Для устранения этих недостатков сплавы дополнительно легируют марганцем, железом, никелем, свинцом.

Из алюминиевых бронз изготавливают относительно мелкие, но высокоответственные детали типа шестерен, втулок, фланцев литьем и обработкой давлением. Из бронзы БрА5 штамповкой изготавливают медали и мелкую разменную монету.

Кремнистые бронзы, БрКМц3-1, БрК4, применяют как заменители оловянных бронз. Они немагнитны и морозостойки, превосходят оловянные бронзы по коррозионной стойкости и механическим свойствам, имеют высокие упругие свойства. Сплавы хорошо свариваются и подвергаются пайке. Благодаря высокой устойчивости к щелочным средам и сухим газам, их используют для производства сточных труб, газо- и дымопроводов.

Свинцовые бронзы, БрС30, используют как высококачественный антифрикционный материал. По сравнению с оловянными бронзами имеют более низкие механические и технологические свойства.

Бериллиевые бронзы, БрБ2, являются высококачественным пружинным материалом. Растворимость бериллия в меди с понижением температуры значительно уменьшается. Это явление используют для получения высоких упругих и прочностных свойств изделий методом дисперсионного твердения. Готовые изделия из бериллиевых бронз подвергают закалке от 800°C, благодаря чему фиксируется при комнатной температуре пересыщенный твердый раствор бериллия в меди. Затем проводят искусственное старение при температуре 300...350°C. При этом происходит выделение дисперсных частиц, возрастают прочность и упругость. После старения предел прочности достигает 1100...1200 МПа.

ТЕМА 5 ПОРОШКОВЫЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Композиционные материалы.

Композиционные материалы – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее. Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку. Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется матрицей. Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется арматурой. Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твердостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина армирующий компонент можно использовать термин наполнитель.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы: с нуль-мерными наполнителями, размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок; с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других; с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов: с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон, нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу; с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя, матов из нитевидных кристаллов, фольги в матрице в параллельных плоскостях; с трехосным (объемным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе компонентов композиционные материалы разделяются на четыре группы: композиционные материалы, содержащие компонент из металлов или сплавов; композиционные материалы, содержащие компонент из неорганических соединений оксидов, карбидов, нитридов и др.; композиционные материалы, содержащие компонент из неметаллических элементов, углерода, бора и др.; композиционные материалы, содержащие компонент из органических соединений эпоксидных, полиэфирных, фенольных и др.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

В композиционных материалах с нуль-мерным наполнителем наибольшее распространение получила металлическая матрица. Композиции на металлической основе упрочняются равномерно распределенными дисперсными частицами различной дисперсности. Такие материалы отличаются изотропностью свойств. В таких материалах матрица воспринимает всю нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя препятствуют развитию пластической деформации. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц наполнителя. Армирующими наполнителями служат частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов.

Дисперсионно упрочненные композиционные материалы получают методами порошковой металлургии или вводят частицы армирующего порошка в жидкий расплав металла или сплава.

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные частицами оксида алюминия (Al_2O_3). Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше $300^\circ C$, когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно упрочненные сплавы сохраняют эффект упрочнения до температуры $0,8T_{пл}$. Сплавы САП удовлетворительно деформируются, легко обрабатываются резанием, свариваются аргонодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Из них изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

В композиционных материалах с одномерными наполнителями упрочнителями являются одномерные элементы в форме нитевидных кристаллов, волокон, проволоки, которые скрепляются матрицей в единый монолит. Важно, чтобы прочные волокна были равномерно распределены в пластичной матрице. Для армирования композиционных материалов используют непрерывные дискретные волокна с размерами в поперечном сечении от долей до сотен микрометров.

Материалы, армированные нитевидными монокристаллами, были созданы в начале семидесятых годов для авиационных и космических конструкций. Основным способом выращивания нитевидных кристаллов является выращивание их из перенасыщенного пара (ПК-процесс). Для производства особо высокопрочных нитевидных кристаллов оксидов и других соединений осуществляется рост по П-Ж-К – механизму: направленный рост кристаллов происходит из парообразного состояния через промежуточную жидкую фазу.

Осуществляется создание нитевидных кристаллов вытягиванием жидкости через фильтры. Прочность кристаллов зависит от сечения и гладкости поверхности. Композиционные материалы этого типа перспективны как высокожаропрочные материалы. Для увеличения к.п.д. тепловых машин лопатки газовых турбин изготавливают из никелевых сплавов, армированных нитями сапфира (Al_2O_3), это позволяет значительно повысить температуру на входе в турбину (предел прочности сапфировых кристаллов при температуре $1680^\circ C$ выше 700 МПа).

Армирование сопел ракет из порошков вольфрама и молибдена производят кристаллами сапфира как в виде войлока, так и отдельных волокон, в результате этого удалось удвоить прочность материала при температуре $1650^\circ C$. Армирование пропиточного полимера стекло-текстолитов нитевидными волокнами увеличивает их прочность. Армирование литого металла снижает его хрупкость в конструкциях. Перспективно упрочнение стекла неориентированными нитевидными кристаллами.

Для армирования композиционных материалов применяют металлическую проволоку из разных металлов: стали разного состава, вольфрама, ниобия, титана, магния – в зависимости от условий работы. Стальная проволока перерабатывается в тканые сетки, которые используются для получения композиционных материалов с ориентацией арматуры в двух направлениях.

Для армирования легких металлов применяются волокна бора, карбида кремния. Особенно ценными свойствами обладают углеродистые волокна, их применяют для армирования металлических, керамических и полимерных композиционных материалов.

Эвтектические композиционные материалы – сплавы эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в которых упрочняющей фазой выступают ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации. В отличие от обычных композиционных материалов, эвтектические получают за одну операцию. Направленная ориентированная структура может быть получена на уже готовых изделиях. Форма образующихся кристаллов может быть в виде волокон или пластин. Способами направленной кристаллизации получают композиционные материалы на основе алюминия, магния, меди, ко-

бальта, титана, ниобия и других элементов, поэтому они используются в широком интервале температур.

Полимерные композиционные материалы. Особенностью является то, что матрицу образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, пленок, стеклотекстолита. Формирование полимерных композиционных материалов осуществляется прессованием, литьем под давлением, экструзией, напылением.

Широкое применение находят смешанные полимерные композиционные материалы, куда входят металлические и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Например, подшипники, работающие в условиях сухого трения, изготавливают из комбинации фторопласта и бронзы, что обеспечивает самосмазываемость и отсутствие ползучести. Созданы материалы на основе полиэтилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон, обладающие высокими прочностью и жесткостью.

Материалы порошковой металлургии.

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления. Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формируются изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются; возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно; значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %); возможность получения материалов максимальной чистоты; простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

Пористые порошковые материалы.

Отличительной особенностью является наличие равномерной объемной пористости, которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

Антифрикционные материалы (пористость 15...30%), широко применяющиеся для изготовления подшипников скольжения, представляют собой пористую основу, пропитанную маслом. Масло поступает из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся, не требуется подводить смазку извне. Это существенно для чистых производств (пищевая, фармацевтическая отрасли). Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

Подшипники работают при скоростях трения до 6 м/с при нагрузках до 600 МПа. При меньших нагрузках скорости скольжения могут достигать 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06. Для изготовления используются бронзовые или железные порошки с добавлением графита (1...3 %).

Разработаны подшипниковые спеченные материалы на основе тугоплавких соединений (боридов, карбидов и др.), содержащие в качестве твердой смазки сульфиды, селениды и гексагональный нитрид бора. Подшипники могут работать в условиях вакуума и при температурах до 500°C.

Применяют металлопластмассовые антифрикционные материалы: спеченные бронзографиты, титан, нержавеющие стали пропитывают фторопластом. Получаются коррозионно-стойкие и износостойкие изделия. Срок службы металлопластмассовых материалов вдвое больше, чем материалов других типов.

Фрикционные материалы (пористость 10...13%) предназначены для работы в муфтах сцепления и тормозах. Условия работы могут быть очень тяжелыми: трущиеся поверхности

мгновенно нагреваются до 1200°C, а материал в объеме – до 500...600°C. Применяют спеченные многокомпонентные материалы, которые могут работать при скоростях трения до 50 м/с на нагрузках 350...400 МПа. Коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7.

По назначению компоненты фрикционных материалов разделяют на группы:

а) основа – медь и ее сплавы – для рабочих температур 500...600°C, железо, никель и сплавы на их основе – для работы при сухом трении и температурах 1000...1200°C;

б) твердые смазки – предотвращают микросхватывание при торможении и предохраняют фрикционный материал от износа; используют свинец, олово, висмут, графит, сульфиды бария и железа, нитрид бора;

в) материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и др.

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10%, железо – 5...10 %, кремнезем или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Из фрикционных материалов изготавливают тормозные накладки и диски. Так как прочность этих материалов мала, то их прикрепляют к стальной основе в процессе изготовления (припекают к основе) или после (приклепывают, приклеивают и т.д.).

Фильтры (пористость 25...50 %) из спеченных металлических порошков по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация. Они могут работать при температурах от –273°C до 900°C, быть коррозионностойкими и жаропрочными (можно очищать горячие газы). Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионностойких материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. Для удовлетворения запросов металлургической промышленности разработаны материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь.

Фильтрующие материалы выпускают в виде чашечек, цилиндров, втулок, дисков, плит. Размеры колеблются от дисков диаметром 1,5 мм до плит размерами 450x1000 мм. Наиболее эффективно применение фильтров из нескольких слоев с различной пористостью и диаметром пор.

«Потеющие сплавы» – материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. Благодаря испарению жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин). Сплавы выпускаются на основе порошка нихрома с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа используются и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

Пеноматериалы – материалы с очень высокой пористостью, 95...98%. Например, плотность вольфрама 19,3 г/см³, а пеновольфрама – всего 3 г/см³. Такие материалы используют в качестве легких заполнителей и теплоизоляции в авиационной технике.

Конструкционные порошковые материалы.

Спеченные стали. Типовыми порошковыми деталями являются кулачки, корпуса подшипников, ролики, звездочки распределительных валов, детали пишущих и вычислительных машин и другие. В основном это слабонагруженные детали, их изготавливают из порошка железа и графита. Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латунью. Детали сложной конфигурации (например, две шестерни на трубчатой оси) получают из отдельных заготовок, которые насаживают одну на другую с натягом и производят спекание. Для изготовления этой группы деталей используют смеси железо-медь-графит, железо-чугун, железо-графит-легирующие элементы.

Особое место занимают шестерни и поршневые кольца. Шестерни в зависимости от условий работы изготавливают из железо-графита или из железо-графита с медью или легирующими элементами. Снижение стоимости шестерни при переходе с нарезки зубьев на спекание порошка составляет 30...80 %. Пропитка маслом позволяет обеспечить самосмазываемость шестерни, уменьшить износ и снизить шум при работе.

Спеченные поршневые кольца изготавливают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твердая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и увеличивают содержание графита. Применение таких колец увеличивает пробег автомобильного двигателя, уменьшает его износ и сокращает расход масла.

Высоколегированные порошковые стали, содержащие 20 % хрома и 15 % никеля, используют для изготовления изделий, работающих в агрессивных средах.

Спеченные цветные металлы.

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы хорошо обрабатываются давлением.

Широко используются материалы на основе меди, например, изготавливают бронзу – графитные шестерни. Свойства спеченных латуней выше, чем литых, из-за большей однородности химического состава и отсутствия посторонних включений.

Спеченные алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

Керамикометаллические материалы (керметы) содержат более 50 % керамической фазы. В качестве керамической фазы используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали. Керметы отличаются высокими жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, прочностью. Они используются для изготовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (например, лопаток турбин, чехлов термопар). Частным случаем керметов являются твердые сплавы.

Электротехнические порошковые материалы.

Электроконтактные порошковые материалы делятся на материалы для разрывных контактов и материалы для скользящих контактов.

Материалы *разрывных контактов* должны быть тепло- и электропроводными, эрозиястойкими при воздействии электрической дуги, не свариваться в процессе работы. Контактное сопротивление должно быть возможно меньшим, а критическая сила тока и напряжение при образовании дуги – возможно большими. Чистых металлов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Изготавливают контактные материалы прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжелонагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из смесей вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широко используют материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно – графитовые материалы.

Скользящие контакты широко используют в приборах, коллекторных электрических машинах и электрическом транспорте (токосъемники). Представляют собой пары трения, должны обладать высокими антифрикционными свойствами, причем контакт должен быть мягче, чем контртело и не изнашивать его, так как заменить скользящий контакт проще, чем коллектор или привод. Для обеспечения антифрикционности, в состав смесей для скользящих контактов вводят твердые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты

приборов изготавливают из серебра с графитом, серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, вольфрама с палладием.

Магнитные порошковые материалы.

Различают магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Магнитомягкие – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основной магнитомягкий материал – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом. Для повышения электросопротивления легируют кремнием, алюминием. Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Отдельно выделяется группа магнитодиэлектриков – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Таким материалам присущи высокое электросопротивление и минимальные потери на вихревые токи и на перемагничивание. Изготавливаются в результате смешивания, прессования и спекания, особенностью является то, что при нагреве частицы магнитного материала остаются изолированными и не меняют формы. За основу используют чистое железо, альсиферы.

Магнитотвердые материалы (постоянные магниты) – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой. Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо-алюминий-никель (альни), железо-алюминий-никель-кобальт (альнико). После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля. Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

РАЗДЕЛ II ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА

ТЕМА 1 ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИИ И ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Основы металлургического производства.

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах.

Оно включает: шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей; горно-обогащительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке; коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов); энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов; доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей; заводы для производства ферросплавов; сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные); прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция черной металлургии: чугуны: переплавочный, используемый для переплава на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок; железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали; ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей; стальные слитки для производства проката; стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция цветной металлургии: слитки цветных металлов для производства проката; слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах; лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов; слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

Материалы для производства металлов и сплавов.

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60% для железа, 3...5% для меди, 0,005...0,02% для молибдена). Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые. В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

Флюсы – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком. Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2 , P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов CaO , MgO , FeO . Вводят в виде агломерата и окатышей.

Топливо – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ. Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000°C (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

Огнеупорные материалы применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла. Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов. По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич). Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи. Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

Производство чугуна.

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %). Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся: магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60%, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА); красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60%, месторождения – Кривой Рог, КМА; бурый железняк (гидраты оксидов железа $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с содержанием железа 37...55% – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82% Mn), а также передельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MnCO_3 и др.

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомагнезитов.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк CaCO_3 или доломитизированный известняк, содержащий CaCO_3 и MgCO_3 , так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO и MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна. Метод подготовки зависит от качества руды. Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов. Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

- а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;
- б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;
- в) магнитная сепарация – измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: агломерацию и окатывание. При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50%), известняка (15...20%), возврата мелкого агломерата (20...30%), коксовой мелочи (4...6%), влаги (6...9%), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500°C. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат.

При окатывании шихту из измельченных концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350°C.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса – известняка в доменную печь при плавке.

Выплавка чугуна.

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – доменных печах. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

1. Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определенного химического состава.
2. Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нем золы кокса и удаление его из печи.

Устройство и работа доменной печи. Доменная печь (рис. 1.1) имеет стальной кожух, выложенный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещади 15.

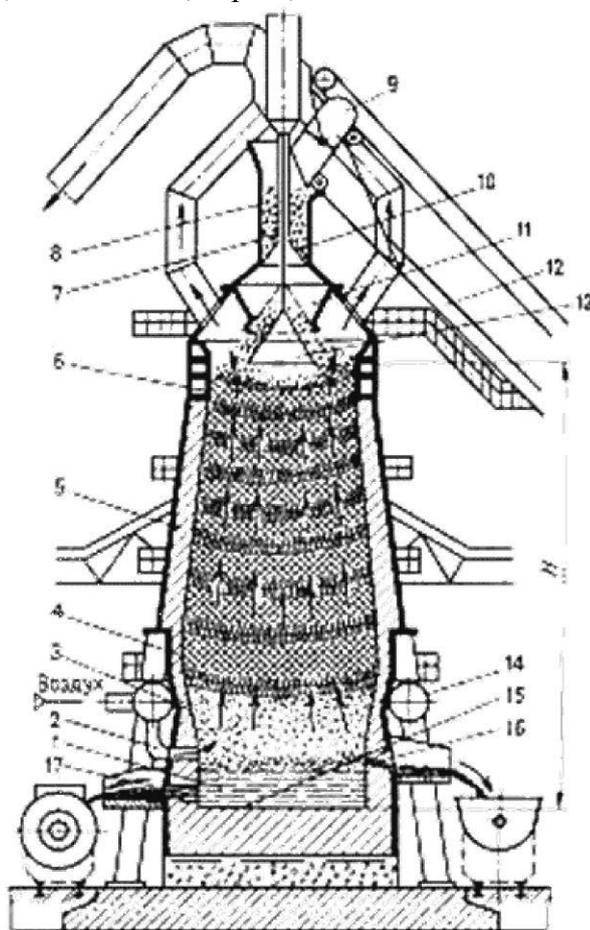


Рис. 1.1. Устройство доменной печи

В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объем был заполнен. Полезный объем печи – объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса

засыпного аппарата при его опускании. Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объем – 2000...5000 м³.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой имеются вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до температуры 1000...1200°C и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

Горение топлива. Вблизи фурм природный газ и углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорают. В результате горения выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше 2000°C. Продукты сгорания взаимодействуют с раскаленным коксом.

Образуется смесь восстановительных газов, в которой окись углерода является главным восстановителем железа из его оксидов. Для увеличения производительности подаваемый в доменную печь воздух увлажняется, что приводит к увеличению содержания восстановителя. Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 300...400°C у колошника. Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре около 570°C начинается восстановление оксидов железа.

Восстановление железа в доменной печи.

Закономерности восстановления железа выявлены академиком Байковым А.А. Восстановление железа происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте и повышения температуры от высшего оксида к низшему, в несколько стадий:

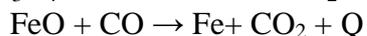
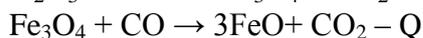


Температура определяет характер протекания химических реакций. Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород.

Восстановление твердым углеродом (коксом) называется прямым восстановлением, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Восстановление газами (СО и Н₂) называется косвенным восстановлением, протекает в верхней части печи при сравнительно низких температурах, по реакциям:



За счет СО и Н₂ восстанавливаются все высшие оксиды железа до низшего и 40...60% металлического железа.

При температуре 1000...1100°C восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно растворяет углерод. При насыщении углеродом температура плавления понижается и на уровне распара и заплечиков железо расплавляется (при температуре около 1300°C).

Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4%), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1200°C восстанавливаются из руды, и серой, содержащейся в коксе.

В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. Шлаки содержат Al₂O₃, CaO, MgO, SiO₂, MnO, FeO, CaS. Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

Чугун выпускают из печи каждые 3...4 часа через чугунную летку 16, а шлак – каждые 1...1,5 часа через шлаковую летку 17 (летка – отверстие в кладке, расположенное выше ле-

щади). Летки открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши.

Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек – слитков массой 45 кг.

Продукты доменной плавки.

Основным продуктом доменной плавки является чугун.

Передельный чугун предназначается для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90% общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит 3,8...4,4% углерода, 0,3...1,2% кремния, 0,2...1% марганца, 0,15...0,20% фосфора, 0,03...0,07% серы.

Литейный чугун применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют ферросплавы – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления и легирования стали.

Побочными продуктами доменной плавки являются шлак и доменный газ. Из шлака готовят шлаковату, цемент, удобрения (стараясь получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды). Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей.

1. Коэффициент использования полезного объема доменной печи (КИПО) – это отношение полезного объема печи V (m^3) к ее среднесуточной производительности P (т) выплавленного чугуна.

$$КИПО = V / P \text{ (} m^3/t \text{)}$$

Чем ниже КИПО, тем выше производительность печи. Для большинства доменных печей КИПО = 0,5...0,7 (для передовых – 0,45)

2. Удельный расход кокса, K – это отношение расхода кокса за сутки A (т) к количеству чугуна, выплавленного за это же время P (т).

$$K = A / P$$

Удельный расход кокса в доменных печах составляет 0,5...0,7 (для передовых – 0,36...0,4). K – важный показатель, так как стоимость кокса составляет более 50% стоимости чугуна.

Процессы прямого получения железа из руд.

Под процессами прямого получения железа понимают такие химические, электрохимические или химико-термические процессы, которые дают возможность получать непосредственно из руды, минуя доменную печь, металлическое железо в виде губки, крицы или жидкого металла. Такие процессы ведутся, не расходуя металлургический кокс, флюсы, электроэнергию (на подготовку сжатого воздуха), а также позволяют получить очень чистый металл.

Методы прямого получения железа известны давно. Опробовано более 70 различных способов, но лишь немногие осуществлены и притом в небольшом промышленном масштабе. В последние годы интерес к этой проблеме вырос, что связано, помимо замены кокса другим топливом, с развитием способов глубокого обогащения руд, обеспечивающих не только высокого содержания железа в концентратах (70...72%), но и почти полное освобождение его от серы и фосфора.

Получение губчатого железа в шахтных печах.

Схема процесса представлена на рис. 1.2. При получении губчатого железа добытую руду обогащают и получают окатыши.

Окатыши из бункера 1 по грохоту 2 поступают в короб 10 шихтозавалочной машины и оттуда в шахтную печь 9, работающую по принципу противотока. Просыпь от окатышей падает в бункер 3 с брикетировочным прессом и в виде окатышей вновь поступает на грохот 2. Для восстановления железа из окатышей в печь по трубопроводу 8 подают смесь природного и доменного газов, подвергнутую в установке 7 конверсии, в результате которой смесь разлагается на водород и оксид углерода.

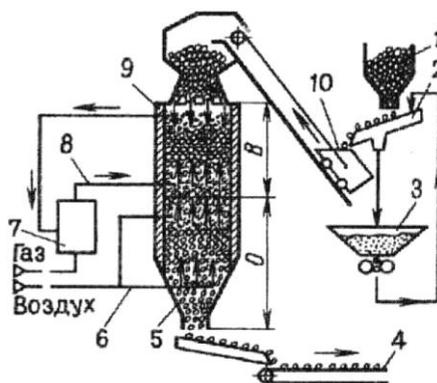


Рис. 1.2. Схема установки для прямого восстановления железа из руд и получения металлизированных окатышей

В восстановительной зоне печи В создается температура 1000...1100°C, при которой и восстанавливают железную руду в окатышах до твердого губчатого железа. Содержание железа в окатышах достигает 90...95%. Для охлаждения железных окатышей по трубопроводу б в зону охлаждения 0 печи подают воздух. Охлажденные окатыши 5 выдаются на конвейер 4 и поступают на выплавку стали в электропечах.

Восстановление железа в кипящем слое.

Мелкозернистую руду или концентрат помещают на решетку, через которую подают водород или другой восстановительный газ под давлением 1,5 МПа. Под давлением водорода частицы руды находятся во взвешенном состоянии, совершая непрерывное движение и образуя «кипящий», «псевдосжиженный» слой. В кипящем слое обеспечивается хороший контакт газа-восстановителя с частицами оксидов железа. На одну тонну восстановленного порошка расход водорода составляет 600...650 м³.

Получение губчатого железа в капсулах-тиглях.

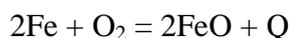
Используют карбидокремниевые капсулы диаметром 500 мм и высотой 1500 мм. Шихта загружается концентрическими слоями. Внутренняя часть капсулы заполнена восстановителем – измельченным твердым топливом и известняком (10...15%) для удаления серы. Второй слой – восстанавливаемая измельченная руда или концентрат, окалина, затем еще один концентрический слой – восстановителя и известняка. Установленные на вагонетки капсулы медленно перемещаются в туннельной печи длиной до 140 м, где происходит нагрев, выдержка при 1200°C и охлаждение в течение 100 часов.

Восстановленное железо получают в виде толстостенных труб, их чистят, дробят и измельчают, получая железный порошок с содержанием железа до 99%, углерода – 0,1...0,2%.

Производство стали.

Стали – железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 1,5% углерода, при большем его содержании значительно увеличиваются твердость и хрупкость сталей и они не находят широкого применения. Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне. Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Железо окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильных печах:

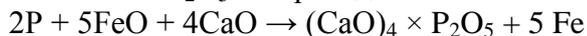


Одновременно с железом окисляются кремний, фосфор, марганец и углерод. Образующийся оксид железа при высоких температурах отдает свой кислород более активным примесям в чугуне, окисляя их.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

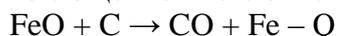
Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. Температура металла сравнительно невысокая, интенсивно происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора. Наиболее важная задача эта-

па – удаление фосфора. Для этого желательно проведение плавки в основной печи, где шлак содержит CaO. Фосфорный ангидрид P₂O₅ образует с оксидом железа нестойкое соединение (FeO)₃ × P₂O₅. Оксид кальция CaO – более сильное основание, чем оксид железа, поэтому при невысоких температурах связывает P₂O₅ и переводит его в шлак:



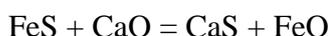
Для удаления фосфора необходимы невысокие температура ванны металла и шлака, достаточное содержание в шлаке FeO. Для повышения содержания FeO в шлаке и ускорения окисления примесей в печь добавляют железную руду и окалину, наводя железистый шлак. По мере удаления фосфора из металла в шлак, содержание фосфора в шлаке увеличивается. Поэтому необходимо убрать этот шлак с зеркала металла и заменить его новым со свежими добавками CaO.

Второй этап – кипение металлической ванны – начинается по мере прогрева до более высоких температур. При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты:



Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород. При реакции оксида железа с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение ванны». При «кипении» уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO, а также газы, проникающие в пузырьки CO. Все это способствует повышению качества металла. Следовательно, этот этап – основной в процессе выплавки стали.

Также создаются условия для удаления серы. Сера в стали находится в виде сульфида (FeS), который растворяется также в основном шлаке. Чем выше температура, тем большее количество сульфида железа FeS растворяется в шлаке и взаимодействует с оксидом кальция CaO:



Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке, но не растворяется в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап – раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле. При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах. Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным.

Осаждающее раскисление осуществляется введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. В результате раскисления восстанавливается железо и образуются оксиды: MnO, SiO₂, Al₂O₅, которые имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

Диффузионное раскисление осуществляется раскислением шлака. Ферромарганец, ферросилиций и алюминий в измельченном виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. Следовательно, оксид железа, растворенный в стали переходит в шлак. Образующиеся при этом процессе оксиды остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, при этом в стали снижается содержание неметаллических включений и повышается ее качество.

В зависимости от степени раскисления выплавляют стали: спокойные, кипящие, полуспокойные. Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше.

Кипящая сталь раскислена в печи неполностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода: FeO + C → Fe + CO. Образующийся оксид углерода выделяется из стали, способствуя удалению из стали азота и водорода, газы выделяются в виде пузырьков, вызывая ее кипение. Кипящая сталь не содержит неметаллических включений, поэтому обладает хорошей пластичностью.

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично – в изложнице, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали.

Легирующие стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Cu), при плавке и разливке не окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

Способы выплавки стали.

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

Производство стали в мартеновских печах.

Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до семидесятых годов являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т. Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь (рис. 1.3) по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

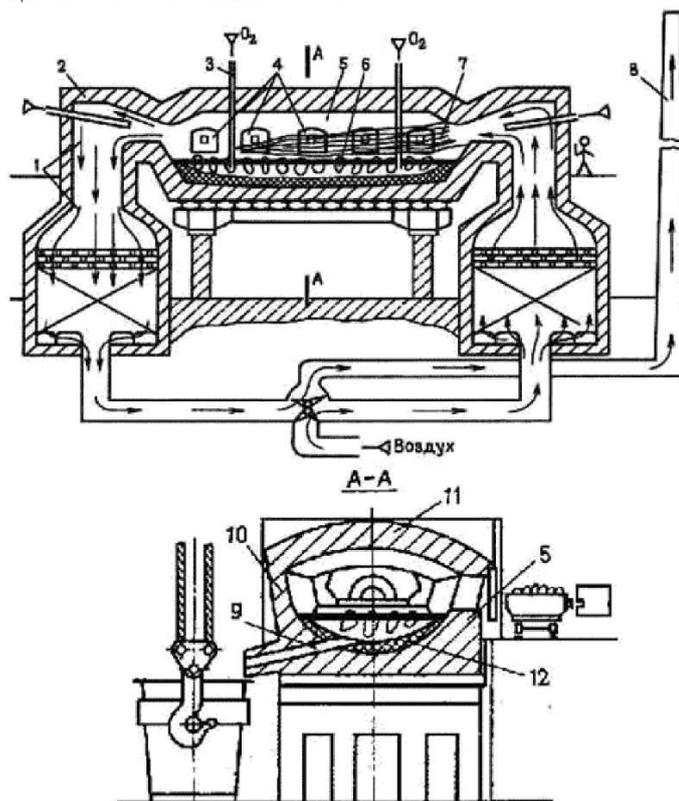


Рис. 1.3. Схема мартеновской печи

Современная мартеновская печь представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной 12, сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие 9 для выпуска готовой стали.

Характеристикой рабочего пространства является площадь пода печи, которую подсчитывают на уровне порогов загрузочных окон. С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи 2, которые служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. В качестве топлива используют природный газ, мазут. Для подогрева воздуха и газа при работе на низкокалорийном газе печь имеет два регенератора 1. Регенератор – камера, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку, предназначен для нагрева воздуха и газов. Отходящие от печи газы имеют температуру 1500...1600°C. Попадая в регенератор, газы нагревают насадку до температуры 1250°C. Через один из регенераторов подают воздух, который проходя через насадку нагревается до 1200°C и поступает в головку печи, где смешивается с топливом, на выходе из головки образуется факел 7, направленный на шихту 6.

Отходящие газы проходят через противоположную головку (левую), очистные устройства (шлаковики), служащие для отделения от газа частиц шлака и пыли и направляются во второй регенератор. Охлажденные газы покидают печь через дымовую трубу 8. После охлаждения насадки правого регенератора переключают клапаны, и поток газов в печи изменяет направление.

Температура факела пламени достигает 1800 0С. Факел нагревает рабочее пространство печи и шихту. Факел способствует окислению примесей шихты при плавке. Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов.

Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавов.

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

- скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового переделного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома.

- скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали, в шлаке преобладают основные оксиды, то процесс называют основным мартеновским процессом, а если кислые – кислым. Наибольшее количество стали производят скрап-рудным процессом в мартеновских печах с основной футеровкой.

В печь загружают железную руду и известняк, а после подогрева подают скрап. После разогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун. В период плавления за счет оксидов руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна: кремний, фосфор, марганец и, частично, углерод. Оксиды образуют шлак с высоким содержанием оксидов железа и марганца (железистый шлак). После этого проводят период «кипения» ванны: в печь загружают железную руду и продувают ванну подаваемым по трубам 3 кислородом. В это время отключают подачу в печь топлива и воздуха и удаляют шлак.

Для удаления серы наводят новый шлак, подавая на зеркало металла известь с добавлением боксита для уменьшения вязкости шлака. Содержание в шлаке возрастает, а уменьшается. В период «кипения» углерод интенсивно окисляется, поэтому шихта должна содержать избыток углерода. На данном этапе металл доводится до заданного химического состава, из него удаляются газы и неметаллические включения.

Затем проводят раскисление металла в два этапа. Сначала раскисление идет путем окисления углерода металла, при одновременной подаче в ванну раскислителей – ферромарганца, ферросилиция, алюминия. Окончательное раскисление алюминием и ферросилицием осуществляется в ковше, при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб сталь выпускают в ковш.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах. В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора. Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, ее используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

Основными технико-экономическими показателями производства стали в мартеновских печах являются: производительность печи – съем стали с 1 м^2 площади пода в сутки (т/м^2 в сутки), в среднем составляет 10 т/м^2 ; расход топлива на 1 т выплавляемой стали, в среднем составляет 80 кг/т . С укрупнением печей увеличивается их экономическая эффективность.

Производство стали в кислородных конвертерах.

Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. Первые опыты в 1933-1934 – Мозговой. В промышленных масштабах – в 1952-1953 на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название ЛД-процесс. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера – $130\text{...}350\text{ т}$ жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рис. 1.4.

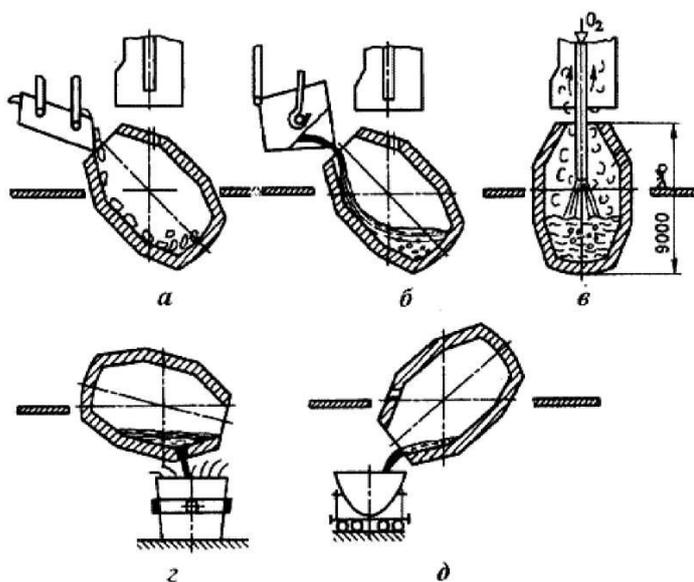


Рис. 1.4. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап (рис. 1.4 а), заливают чугун при температуре $1250\text{...}1400^\circ\text{C}$ (рис. 1.4 б). После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис. 1.4 в), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением $0,9\text{...}1,4\text{ МПа}$. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком.

Под фурмой развивается температура 2400°C . В зоне контакта кислородной струи с металлом окисляется железо. Оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный кислород окисляет кремний, марганец, углерод в металле, и их содержание падает. Происходит разогрев металла теплотой, выделяющейся при окислении.

Фосфор удаляется в начале продувки ванны кислородом, когда ее температура невысока (содержание фосфора в чугуне не должно превышать $0,15\%$). При повышенном содержании фосфора для его удаления необходимо сливать шлак и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

Сера удаляется в течение всей плавки (содержание серы в чугуне должно быть до $0,07\%$). Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш (рис. 1.4 г), где раскисляют осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, затем сливают шлак (рис. 1.4 д).

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. Плавка в конвертерах вместимостью $130\text{...}300\text{ т}$ заканчивается через $25\text{...}30$ минут.

Производство стали в электропечах.

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами: легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока; можно получать высокую температуру металла; возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений. Электропечи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей. Различают дуговые и индукционные электропечи.

Дуговая плавильная печь.

Схема дуговой печи показана на рис. 1.5.

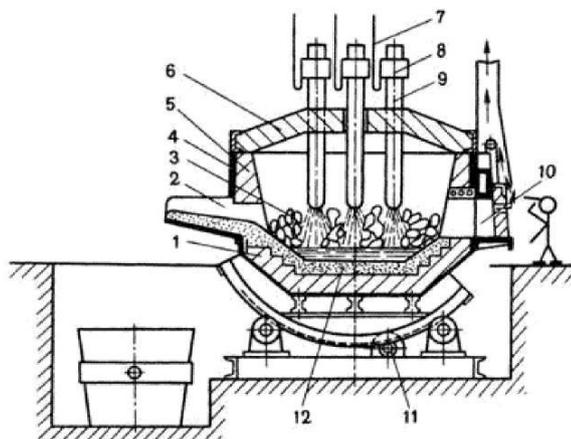


Рис. 1.5. Схема дуговой плавильной печи

Дуговая печь питается трехфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы, закрепленных в электрододержателях 8, к которым подводится электрический ток по кабелям 7. Между электродом и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключен в прочный стальной кожух 4, внутри футерован основным или кислым кирпичом 1. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6. Съёмный свод 6 имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса рабочее окно 10 (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом 2. Печь опирается на секторы и имеет привод 11 для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

Вместимость печей составляет $0,5\text{...}400$ тонн. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов: на шихте из легированных отходов (методом переплава); на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окислы окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично, углерод. Оксид кальция из извести и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до 1500...1540°C загружают руду и известь, проводят период «кипения» металла, происходит дальнейшее окисление углерода. После прекращения кипения удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Раскисление производят осаждением и диффузионным методом. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силико-кальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали – конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные.

Индукционные тигельные плавильные печи.

Выплавляют наиболее качественные коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы. Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн. Схема индукционной тигельной печи представлена на рис 1.6.

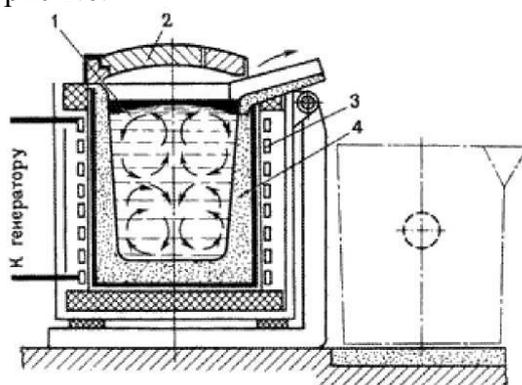


Рис. 1.6. Схема индукционной тигельной печи

Печь состоит из водоохлаждаемого индуктора 3, внутри которого находится тигель 4 (основные или кислые огнеупорные материалы) с металлической шихтой, через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500...2000 Гц). При пропускании тока через индуктор в металле 1, находящемся в тигле, индуцируются мощные вихревые токи, что обеспечивает нагрев и плавление металла. Для уменьшения потерь тепла, печь имеет съемный свод 2.

Тигель изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. Для выпуска плавки печь наклоняют в сторону сливного желоба. Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры.

В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов методом переплава, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов методом сплавления. После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами.

При плавке в кислых печах, после расплавления и удаления плавильного шлака, наводят шлак из боя стекла SiO_2 . Для окончательного раскисления перед выпуском металла в ковш вводят ферросилиций, ферромарганец и алюминий.

В основных печах раскисление проводят смесью из порошкообразной извести, кокса, ферросилиция, ферромарганца и алюминия. В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой – конструкционные, легированные другими элементами стали.

В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды. При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

Разливка стали.

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разливки стали. Из ковша сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые подвергаются прокатке, ковке. Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков. Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями.

Слитки с квадратным сечением переделывают на сортовой прокат: двутавровые балки, швеллеры, уголки. Слитки прямоугольного сечения – на листы. Слитки круглого сечения используются для изготовления труб, колес. Слитки с многогранным сечением применяют для изготовления поковок.

Спокойные и кипящие углеродистые стали разливают в слитки массой до 25 тонн, легированные и высококачественные стали – в слитки массой 0,5...7 тонн, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки до нескольких килограммов.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 1.7 а), снизу (сифоном) (рис. 1.7 б) и на машинах непрерывного литья (рис. 1.8).

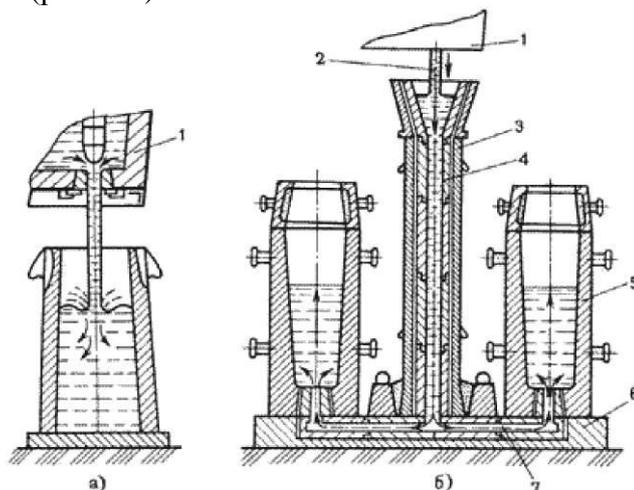


Рис. 1.7. Разливка стали в изложницы а – сверху; б – снизу (сифоном)

В изложницы сверху сталь разливают непосредственно из ковша 1. При этом исключается расход металла на литники, упрощается подготовка оборудования к разливке. К недостаткам следует отнести менее качественную поверхность слитков, из-за наличия пленок ок-

сидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы. Применяется для разливки углеродистых сталей. При сифонной разливке одновременно заполняются несколько изложниц (4...60).

Изложницы устанавливаются на поддоне 6, в центре которого располагается центральной литник 3, футерованный огнеупорными трубками 4, соединенный каналами 7 с изложницами. Жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает в центральной литник и снизу плавно, без разбрызгивания наполняет изложницу 5. Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц. Используют для легированных и высококачественных сталей.

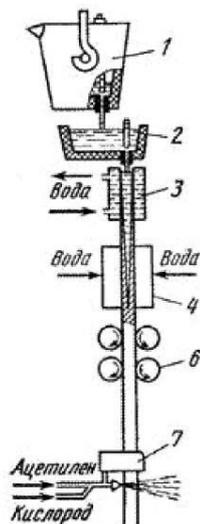


Рис. 1.8. Схема непрерывной разливки стали

Непрерывная разливка стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна – кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 5.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку – стальную штангу со сменной головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста, которая в начале заливки служит дном кристаллизатора. Вследствие интенсивного охлаждения жидкий металл у стенок кристаллизатора и на затравке затвердевает, образуется корка, соединяющая металл с затравкой. Затравка движется вниз при помощи тяговых роликов 6, постепенно вытягивая затвердевающий слиток из кристаллизатора. После прохождения тяговых роликов 6, затравку отделяют. Скорость вытягивания составляет в среднем 1 м/мин.

Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из брызгал 4. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком 7, на куски заданной длины. Слитки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины.

Способы повышения качества стали.

Улучшить качество металла можно уменьшением в нем вредных примесей, газов, неметаллических включений. Для повышения качества металла используют: обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-дуговых и плазменных печах и т. д.

Вакуумная дегазация проводится для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений. Вакуумирование стали проводят в ковше, при переливе из ковша в ковш, при заливке в изложницу. Для вакуумирования в ковше ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами создают разрежение до остаточного давления 0,267...0,667 кПа. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметалличе-

ские включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Улучшаются прочность и пластичность стали.

Электрошлаковый переплав (ЭШП) применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочны сталей. Схема электрошлакового переплава представлена на рис. 1.9.

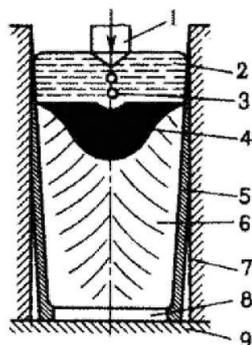


Рис. 1.9. Схема электрошлакового переплава

Переплаву подвергается выплавленный в дуговой печи и прокатанный на пруток металл. Источником теплоты является шлаковая ванна, нагреваемая электрическим током. Электрический ток подводится к переплавляемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2, и к поддону 9, установленному в водоохлаждаемом кристаллизаторе 7, в котором находится затравка 8. Выделяющаяся теплота нагревает ванну 2 до температуры свыше 1700°C и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла 3 проходят через шлак и образуют под шлаковым слоем металлическую ванну 4.

Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из металла серы, неметаллических включений и газов. Металлическая ванна пополняется путем расплавления электрода, и под воздействием кристаллизатора она постепенно формируется в слиток 6. Содержание кислорода уменьшается в 1,5...2 раза, серы в 2...3 раза. Слиток отличается плотностью, однородностью, хорошим качеством поверхности, высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Слитки получают круглого, квадратного и прямоугольного сечения, массой до 110 тонн.

Вакуумно-дуговой переплав (ВДП) применяют в целях удаления из металла газов и неметаллических включений. Процесс осуществляется в вакуумно-дуговых печах с расходуемым электродом. Катод изготавливают механической обработкой слитка выплавляемого в электропечах или установках ЭШП. Схема вакуумно-дугового переплава представлена на рис. 1.10.

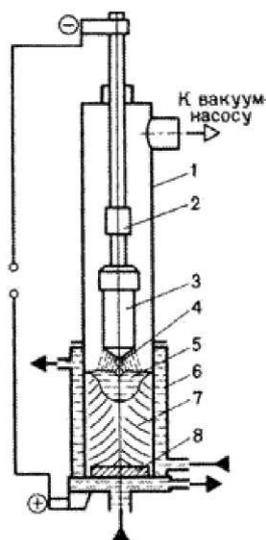


Рис. 1.10. Схема вакуумно-дугового переплава

Расходуемый электрод 3 закрепляют на водоохлаждаемом штоке 2 и помещают в корпус печи 1 и далее в медную водоохлаждаемую изложницу 6. Из корпуса печи откачивают воздух до остаточного давления 0,00133 кПа. При подаче напряжения между расходуемым электродом 3 (катодом) и затравкой 8 (анодом) возникает дуга.

Выделяющаяся теплота расплавляет конец электрода. Капли жидкого металла 4, проходя зону дугового разряда дегазируются, заполняют изложницу и затвердевают, образуя слиток 7. Дуга горит между электродом и жидким металлом 5 в верхней части слитка на протяжении всей плавки. Охлаждение слитка и разогрев жидкого металла создают условия для направленного затвердевания слитка. Следовательно, неметаллические включения сосредотачиваются в верхней части слитка, усадочная раковина мала. Слиток характеризуется высокой равномерностью химического состава, повышенными механическими свойствами. Изготавливают детали турбин, двигателей, авиационных конструкций. Масса слитков достигает 50 тонн.

Производство меди.

Медь в природе находится в виде сернистых соединений (CuS , Cu_2S), оксидов (CuO , Cu_2O), гидрокарбонатов ($\text{Cu}(\text{OH})_2$), углекислых соединений (CuCO_3) в составе сульфидных руд и самородной металлической меди. Наиболее распространенные руды – медный колчедан и медный блеск, содержащие 1...2% меди. 90% первичной меди получают пирометаллургическим способом, 10% – гидрометаллургическим.

Гидрометаллургический способ – получение меди путем ее выщелачивания слабым раствором серной кислоты и последующего выделения металлической меди из раствора. Получение меди пирометаллургическим способом состоит из обогащения, обжига, плавки на штейн, продувки в конвертере, рафинирования. Обогащение медных руд производится методом флотации и окислительного обжига.

Метод флотации основан на использовании различной смачиваемости медьсодержащих частиц и пустой породы. Позволяет получать медный концентрат, содержащий 10...35% меди. Медные руды и концентраты, содержащие большие количества серы, подвергаются окислительному обжигу. В процессе нагрева концентрата или руды до 700...800°C в присутствии кислорода воздуха сульфиды окисляются и содержание серы снижается почти вдвое против исходного. Обжигают только бедные (с содержанием меди 8...25%) концентраты, а богатые (25...35% меди) плавят без обжига.

После обжига руда и медный концентрат подвергаются плавке на штейн, представляющий собой сплав, содержащий сульфиды меди и железа Cu_2S , FeS . Штейн содержит 20...50% меди, 20...40% железа, 22...25% серы, около 8% кислорода и примеси никеля, цинка, свинца, золота, серебра. Чаще всего плавка производится в пламенных отражательных печах. Температура в зоне плавки 1450°C. Полученный медный штейн, с целью окисления сульфидов и железа, подвергают продувке сжатым воздухом в горизонтальных конвертерах с боковым дутьем. Образующиеся окислы переводят в шлак, а серу – в SO_2 . Тепло в конвертере выделяется за счет протекания химических реакций без подачи топлива. Температура в конвертере составляет 1200...1300°C. Таким образом, в конвертере получают черновую медь, содержащую 98,4...99,4 % меди, 0,01...0,04 % железа, 0,02...0,1 % серы и небольшое количество никеля, олова, сурьмы, серебра, золота. Эту медь сливают в ковш и разливают в стальные изложницы или на разливочной машине.

Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей, проводят огневое, а затем электролитическое рафинирование.

Сущность *огневого рафинирования* черновой меди заключается в окислении примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, удалении их с газами и переводе в шлак. После огневого рафинирования получают медь чистотой 99...99,5%. Ее разливают в изложницы и получают чушки для дальнейшей выплавки сплавов (бронзы и латуни) или слитки для электролитического рафинирования.

Электролитическое рафинирование проводят для получения чистой от примесей меди (99,95%). Электролиз проводят в ваннах, где анод изготавливают из меди огневого рафини-

рования, а катод – из тонких листов чистой меди. Электролитом служит водный раствор CuSO_4 (10...16%) и H_2SO_4 (10...16%). При пропускании постоянного тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разряжаются ионы меди, осаждаясь на них слоем чистой меди. Примеси осаждаются на дно ванны в виде шлака, который идет на переработку с целью извлечения металлов.

Катоды выгружают через 5...12 дней, когда их масса достигнет 60...90 кг. Их тщательно промывают, а затем переплавляют в электропечах. Медь по чистоте подразделяется на марки: М0 (99,95% Cu), М1 (99,9%), М2(99,7%), М3 (99,5%), М4 (99%).

Производство магния.

Для получения магния наибольшее распространение получил электролитический способ, сущность которого заключается в получении чистых безводных солей магния, электролизе этих солей в расплавленном состоянии и рафинировании металлического магния. Основным сырьем для получения магния являются: карналлит, магнезит, доломит, бишофит. Наибольшее количество магния получают из карналлита. Сначала карналлит обогащают и обезвоживают. Безводный карналлит используют для приготовления электролита.

Электролиз осуществляют в электролизере, футерованном шамотным кирпичом.

Анодами служат графитовые пластины, а катодами – стальные пластины. Электролизер заполняют расплавленным электролитом состава 10 % MgCl_2 , 45 % CaCl_2 , 30 % NaCl , 15 % KCl , с небольшими добавками NaF и CaF_2 . Такой состав электролита необходим для понижения температуры его плавления (720°C). Для электролитического разложения хлористого магния через электролит пропускают ток. В результате образуются ионы хлора, которые движутся к аноду. Ионы магния движутся к катоду и после разряда выделяются на поверхности, образуя капельки жидкого черного магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на поверхность, откуда его периодически удаляют вакуумным ковшем.

Черновой магний содержит 5 % примесей, поэтому его рафинируют переплавкой с флюсами. Для этого черновой магний и флюс, состоящий из MgCl_2 , KCl , CaF_2 , NaCl и CaCl_2 нагревают в печи до температуры $700...750^\circ\text{C}$ и перемешивают. При этом неметаллические примеси переходят в шлак. Затем печь охлаждают до температуры 670°C и магний разливают в изложницы на чушки.

Заготовительное производство. Выбор метода и способа получения заготовки.

Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на технологическую подготовку производства, себестоимость, надежность и долговечность изделий. Правильно выбрать способ получения заготовки – означает определить рациональный технологический процесс ее получения с учетом материала детали, требований к точности ее изготовления, технических условий, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска.

Машиностроение располагает большим количеством способов получения деталей. Это многообразие, с одной стороны, позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики машин за счет использования свойств исходного материала, с другой – создает трудности при выборе рационального, экономичного способа получения детали.

Особенно важно правильно выбрать вид заготовки, назначить наиболее рациональный технологический процесс ее изготовления в условиях автоматизированного производства, когда размеры детали при механической обработке получаются «автоматически» на предварительно настроенных агрегатных станках или станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В этом случае недостаточные припуски так же вредны, как и излишние, а неравномерная твердость материала или большие уклоны на заготовке могут вызвать значительные колебания в допусках размеров готовой детали. Поэтому очень важен экономически и технологически обоснованный выбор вида заготовки для данного производства.

Максимальное приближение геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали – главная задача заготовительного производства. Заданные конструк-

тором геометрия, размеры и марка материала детали во многом определяют технологию изготовления. Таким образом, выбор вида заготовки происходит в процессе конструирования, так как при расчете деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик конструктор исходит из физико-механических свойств применяемого материала с учетом влияния способа получения заготовки.

Факторы, влияющие на себестоимость производства в машиностроении, делятся на три группы:

1-я группа – конструктивные факторы, т.е. конструктивное решение самой детали, обеспечивающее приемлемость ее для изготовления обработкой давлением, литьем, сваркой; выбор марки материала и технологических условий;

2-я группа – производственные факторы, т.е. характер и культура производства, технологическая оснащенность, организационные и технологические уровни производства;

3-я группа – технологические факторы, характеризующие способ формообразования заготовок, выбор самой заготовки, оборудования и технологического процесса получения детали.

То, насколько полно в заготовке учтено влияние факторов первой и второй групп, позволяет судить о технологичности заготовки. Под технологичностью заготовки принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надежность работы детали при эксплуатации. Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Третья группа факторов важна, когда детали могут быть получены одним или несколькими способами литья или обработки давлением, например, фланцы, тройники, шестерни. Однако при литье структура металла, а следовательно, и механические свойства, ниже, чем при обработке металлов давлением. Также, особенно при литье в кокиль или под давлением, выше вероятность возникновения литейных напряжений и наличия пористости.

При штамповке, создавая направленную структуру, можно увеличить эксплуатационные свойства детали. В то же время заданный параметр шероховатости поверхности и точность размеров могут быть обеспечены в обоих случаях. Таким образом, при выборе способов получения заготовки в первую очередь следует учитывать основные факторы (себестоимость и требования к качеству), ориентироваться на то, что в конкретном случае является определяющим.

В качестве другого примера можно рассмотреть крупногабаритные детали значительной массы, требующие для своего изготовления уникального оборудования большой мощности. Такие детали целесообразно изготавливать сварными. Это позволяет сократить длительность цикла изготовления, повысить качество металла за счет применения слитков меньшей массы с меньшим количеством литейных дефектов, но при этом уменьшается коэффициент использования металла, увеличивается трудоемкость.

Оптимальное решение при выборе заготовок может быть найдено только при условии комплексного анализа влияния на себестоимость всех факторов, при обязательном условии положительного влияния способа получения заготовки на качество изделия. В себестоимости изготовления детали значительную долю составляют затраты на материал (около 60 %). Поэтому пути снижения себестоимости целесообразно искать в снижении расхода материала.

Технологичность детали с определенной степенью приближения оценивается следующими показателями: коэффициент выхода годного; весовой точности; использования металла.

Общие принципы выбора заготовки.

Наиболее широко для получения заготовок в машиностроении применяют следующие методы: литье, обработка металла давлением и сварка, а также комбинация этих методов. Каждый из методов содержит большое число способов получения заготовок. Метод – это группа технологических процессов, в основе которых лежит единый принцип формообразования.

Литье – получение заготовок путем заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки. Обработка давлением – технологические процессы, которые основаны на пластическом формоизменении металла.

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов и сплавов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок. При выборе метода необходимо ориентироваться в первую очередь на материал и требования к нему с точки зрения обеспечения служебных свойств изделия (литье – чугуны, стали с обозначением Л).

Особо ответственные детали, к которым предъявляются высокие требования по размеру зерна, направлению волокон, а также по уровню механических свойств, всегда следует изготавливать из заготовок, полученной обработкой давлением.

Выбор способа получения заготовки сложная задача. Способ получения заготовки должен быть экономичным, обеспечивающим высокое качество детали, производительным, нетрудоемким.

Основные факторы, влияющие на выбор способа получения заготовки. Характер производства.

Для мелкосерийного и единичного производства характерно использование в качестве заготовок горячекатаного проката, отливок, полученных в песчано-глинистых формах, поковок, полученных ковкой. Это обуславливает большие припуски, значительный объем последующей механической обработки, повышение трудоемкости.

В условиях крупносерийного и массового производства рентабельны способы получения заготовок: горячая объемная штамповка; литье в кокиль, под давлением, в оболочковые формы по выплавляемым моделям. Применение этих способов позволяет значительно сократить припуски, снизить трудоемкость изготовления детали.

Повышение точности формообразующих процессов, выбор наиболее точных и прогрессивных способов получения заготовок на базе увеличения серийности производства является одним из важнейших резервов повышения технического уровня производства.

Материалы и требования, предъявляемые к качеству детали

Материалы должны обладать необходимым запасом определенных технологических свойств – ковкостью, штампуемостью, жидкотекучестью, свариваемостью, обрабатываемостью. Для деформируемых материалов необходимым технологическим свойством является технологическая пластичность. Особо жесткие требования по технологической пластичности предъявляются к сплавам, из которых детали получают холодной обработкой давлением – выдавливанием, вытяжкой, гибкой, формовкой.

Если металл обладает низкой жидкотекучестью, высокой склонностью к усадке, то не рекомендуется применять литье в кокиль, под давлением, так как из-за низкой податливости металлической формы могут возникнуть литейные напряжения, коробление отливки, трещины. Целесообразно применять оболочковое литье и литье в песчаноглинистые формы.

Для ответственных, тяжело нагруженных деталей (валы, шестерни, зубчатые колеса), для которых предъявляются определенные требования к качеству металла и к физико-механическим свойствам – целесообразно использовать поковки, так как в процессе деформирования создается мелкозернистая, направленная волокнистая структура, значительно повышающая физико-механические свойства материала.

Размеры, масса и конфигурация детали.

Удельная стоимость отливок и поковок растет с уменьшением их массы. Закономерность общая для всех способов получения заготовок и деталей, так как трудоемкость формообразования определяют общей площадью поверхностей, подлежащих обработке. Размеры детали часто играют решающую роль. При литье по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением размеры отливки ограничены технологическими возможностями оборудования и инструмента. Способом горячей объемной штамповки возможно получение поковок до 1000 кг.

Качество поверхности заготовок, обеспечение заданной точности.

Использование точных способов обеспечивает достаточную чистоту поверхности и высокую точность заготовок. Совершенствованиековки и штамповки обеспечивают параметры шероховатости и точность размеров, соответствующих механической обработке и даже финишных операций. Калибровка, холодное выдавливание обеспечивают получение готовых деталей (заклепки, гайки, болты).

Возможности имеющегося оборудования.

Учитывают при изготовлении заготовок способами центробежного литья, литья под давлением, горячей объемной штамповкой. Иногда это является определяющим моментом. Например, наличие в кузнечном цехе ротационно-ковочных машин позволяет получить ступенчатые заготовки практически без механической обработки. То же – при наличии механических прессов двойного действия или гидравлических многоступенчатых прессов. Мощность кузнечно-штамповочного оборудования определяет номенклатуру изготовления деталей.

Современное состояние и роль литейного производства в машиностроении.

Теория и практика технологии литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках и других машинах ответственного назначения. Они используются в изготовлении строительных конструкций, металлургических агрегатов, морских судов, деталей бытового оборудования, художественных и ювелирных изделий.

Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшения условий труда.

Литье является наиболее распространенным методом формообразования. Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

Классификация литых заготовок.

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;
- особо ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. Типовые детали – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентиля и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфи-

гурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. Типовые детали – станины специальных МРС, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

Требования к литейным сплавам.

Требования к материалам, используемым для получения отливок: Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Литейные свойства сплавов.

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы. Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла и формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки. Различают объемную и линейную усадку. В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки. Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники. Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки. Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в от-

ливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод. Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и дендритную, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Литейные сплавы.

1. Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок. Широкое распространение чугуна получило благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Из серого чугуна получают самые дешевые отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

2. Сталь как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответственнее машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40...50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 тонн, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковок. Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

1. Медные сплавы – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры для морских судостроения, работающей при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станков, червячных винтов применяют сложнолегированные латуни. Обладают хорошей износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из оловянных бронз (BrO3Ц7C5H1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки. Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже. Применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов, деталей химической и пищевой промышленности.

2. Алюминиевые сплавы.

Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях. Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (Al-Si) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности. Также используются сплавы систем: алюминий-медь, алюминий-медь-кремний, алюминий-магний.

3. Магниево-алюминиевые сплавы обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Способы изготовления отливок. Изготовление отливок в песчаных формах.

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одноразового использования, так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

Изготовление отливок в песчаных формах.

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3...5 до 1000 мм и длиной до 10000 мм.

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта. Литейная форма для получения отливок в песчаных формах представлена на рис. 1.11.

Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках 7, 8 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей 10, которые вставляют в отверстия ручек опок 11. Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему. Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы. Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы.

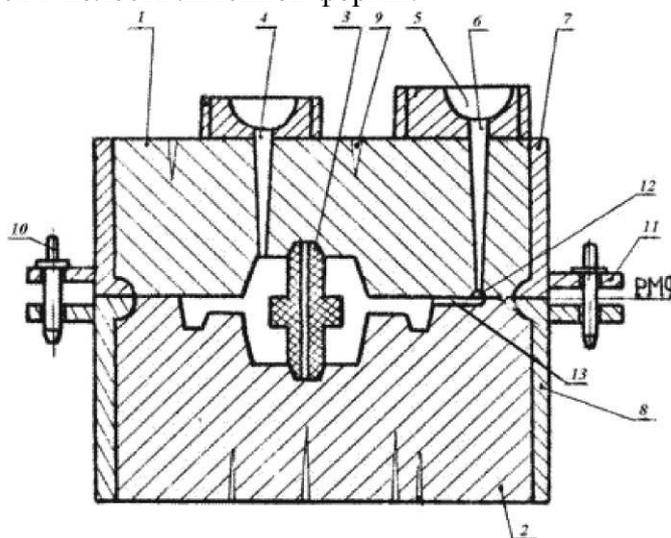


Рис. 1.11. Литейная форма

Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9. Разновидности литниковых систем представлены на рис. 1.12.

Различают литниковые системы с питателями, расположенными в горизонтальной и вертикальной плоскостях. По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делят на: нижнюю, верхнюю, боковую.

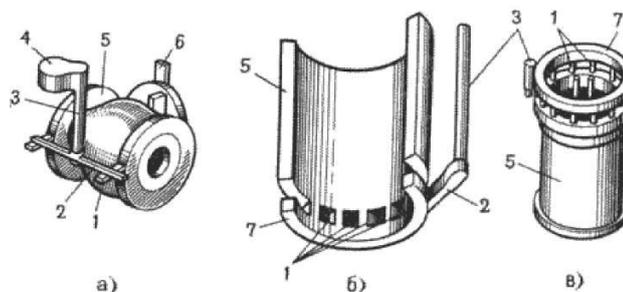


Рис. 1.12. Разновидности литниковых систем

Нижняя литниковая система (рис. 1.12 б) – широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части.

Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений. При такой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок (при литье алюминиевых сплавов форма не заполняется металлом, если отношение высоты отливки к толщине ее стенки превышает 60). Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме, крупных отливок из чугуна.

Верхняя литниковая система (рис.1.12 в). Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней) а, следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания отливки.

Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака.

Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

Боковая литниковая система (рис. 1.12 а). Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки (по разъему формы). Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разъема формы. Является промежуточной между верхней и нижней, и следовательно сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки. Иногда при подводе металла снизу и сверху используют массивные коллекторы.

Приготовление формовочных и стержневых смесей.

Для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы.

Песок – основной компонент формовочных и стержневых смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема. Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок используют противопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски. В качестве припылов используют: для чугунных отливок – смесь оксида магния, древесного угля, порошкообразного графита; для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц. Противопригарные краски представляют собой водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

Смеси должны обладать рядом свойств. Прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации. Поверхностная проч-

ность (осыпаемость) – сопротивление истирающему действию струи металла при заливке. Пластичность – способность воспринимать очертание модели и сохранять полученную форму. Податливость – способность смеси сокращаться в объеме под действием усадки сплава. Текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика. Термохимическая устойчивость или непригарность – способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия. Негигроскопичность – способность после сушки не поглощать влагу из воздуха. Долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

По характеру использования различают облицовочные, наполнительные и единые смеси. Облицовочная – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико-механические свойства. Наполнительная – используется для наполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов. Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок. Единая – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

Приготовление формовочных смесей.

Сначала подготавливают песок, глину и другие исходные материалы. Песок сушат и просеивают. Глину сушат, размельчают, размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. Аналогично получают угольный порошок. Подготавливают оборотную смесь. Оборотную смесь после выбивки из опок разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц в магнитном сепараторе и просеивают.

Приготовление формовочной смеси включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение и разрыхление. Перемешивание осуществляется в смесителях-бегунах с вертикальными или горизонтальными катками. Песок, глину, воду и другие составляющие загружают при помощи дозатора, перемешивание осуществляется под действием катков и плужков, подающих смесь под катки.

Готовая смесь выдерживается в бункерах-отстойниках в течение 2...5 часов, для распределения влаги и образования водных оболочек вокруг глинистых частиц. Готовую смесь разрыхляют в специальных устройствах и подают на формовку.

Стержневая смесь.

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки. Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться растяжению или расплавлению под действием температуры расплавленного металла. Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы (песок способствует ее повышению).

В зависимости от способа изготовления стержневой смеси разделяют: на смеси с отверждением стержней тепловой сушкой в нагреваемой оснастке; жидкие самотвердеющие; жидкие холоднотвердеющие смеси на синтетических смолах; жидкостекольные смеси, отверждаемые углекислым газом. Приготовление стержневых смесей осуществляется перемешиванием компонентов в течение 5...12 минут с последующим выстаиванием в бункерах. В современном литейном производстве изготовление смесей осуществляется на автоматических участках.

Модельный комплект.

Модельный комплект – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны. Литейная модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Применяют модели раз-

емные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые. Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава.

Модели деревянные (сосна, бук, ясень), лучше изготавливать не из целого куска, а склеивать из отдельных брусочков с разным направлением волокон, для предотвращения коробления. Достоинства: дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток: недолговечность. Для лучшего удаления модели из формы ее окрашивают: чугун – красный, сталь – синий.

Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью и чистой рабочей поверхностью. Изготавливаются из алюминиевых сплавов – легкие, не окисляются, хорошо обрабатываются. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Стержневой ящик – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Обеспечивают равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разъемными и неразъемными (вытряхными), а иногда с нагревателями. Изготовление стержней может осуществляться в ручную и на специальных стержневых машинах.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели. Используют для изготовления опочных и безопочных полуформ. Для машинной формовки применяют координатные модельные плиты и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши).

Изготовление литейных форм.

Основными операциями изготовления литейных форм являются: уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы. Формы изготавливаются вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях.

Ручная формовка применяется для получения одной или нескольких отливок в условиях опытного производства, в ремонтном производстве, для крупных отливок массой 200...300 тонн. Приемы ручной формовки: в парных опоках по разъемной модели; формовка шаблонами; формовка в кессонах. Формовка шаблонами применяется для получения отливок, имеющих конфигурацию тел вращения в единичном производстве. Шаблон – профильная доска.

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона, закрепленного на шпинделе при помощи серьги, оформляют наружную поверхность отливки и используют ее как модель для формовки в опоке верхней полуформы. Снимают серьгу с шаблоном, плоскость разреза покрывают разделительным слоем сухого кварцевого песка, устанавливают модели литниковой системы, опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. Затем снимают верхнюю полуформу. В подпятник устанавливают шпиндель с шаблоном, которым оформляют нижнюю полуформу, сжимая слой смеси, равный толщине стенки отливки. Снимают шаблон, удаляют шпиндель, отделяют болван и устанавливают верхнюю полуформу. В готовую литейную форму заливают расплавленный металл

Формовка в кессонах.

Формовкой в кессонах получают крупные отливки массой до 200 тонн. Кессон – железобетонная яма, расположенная ниже уровня пола цеха, водонепроницаемая для грунтовых вод. Механизированный кессон имеет две подвижные и две неподвижные стенки из чугунных плит. Дно из полых плит, которые можно продувать (для ускорения охлаждения отливок) и кессона. Кессон имеет механизм для передвижения стенок и приспособлен для установки и закрепления верхней полуформы.

Машинная формовка.

Используется в массовом и серийном производстве, а также для мелких серий и отдельных отливок. Повышается производительность труда, улучшается качество форм и отливок, снижается брак, облегчаются условия работы. По характеру уплотнения различают машины: прессовые, встряхивающие и другие. Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров формы моделей, степени и равномерности уплотнения и других условий.

В машинах с верхним уплотнением (рис. 1.13 а) уплотняющее давление действует сверху. Используют наполнительную рамку. При подаче сжатого воздуха в нижнюю часть цилиндра 1 прессовый поршень 2, стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 с моделью поднимается. Прессовая колодка 7, закрепленная на траверсе 8 входит в наполнительную рамку 6 и уплотняет формовочную смесь в опоке 5. После прессования стол с модельной оснасткой опускают в исходное положение.

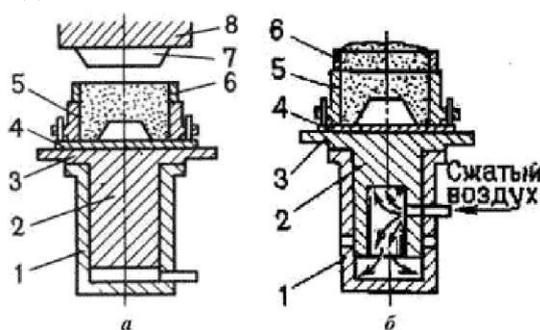


Рис. 1.13. Схемы способов уплотнения литейных форм при машинной формовке: а – прессованием; б - встряхиванием

У машин с нижним прессованием формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой. Уплотнение встряхиванием происходит в результате многократно повторяющихся встряхиваний (рис. 1.13 б). Под действием сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю часть цилиндра 1, встряхивающий поршень 2 и стол с закрепленной на нем модельной плитой 4 с моделью поднимается на 30...100 мм до выпускного отверстия, затем падает. Формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 уплотняется в результате появления инерционных сил. Способ характеризуется неравномерностью уплотнения, уплотнение верхних слоев достигается допрессовкой.

Вакуумная формовка.

Модельная плита имеет вакуумную полость. В модели имеются сквозные отверстия диаметром 0,5...1 мм, совпадающие с отверстиями в плите. Модельную плиту с моделью закрывают нагретой полимерной пленкой. В воздушной коробке насосами создается вакуум 40...50 кПа. Затем устанавливается опока с сухим кварцевым песком, который уплотняется с помощью вибраций. На верхнюю поверхность помещают разогретую пленку, плотно прилегающую к опоке. Полуформу снимают с модели. При заливке металла пленка сгорает, образуя противопригарное покрытие.

Уплотнение пескометом осуществляется рабочим органом пескомета – метательной головкой. Формовочная смесь подается в головку непрерывно. Пескомет обеспечивает засыпку смеси и ее уплотнение. При вращении ковша ($1000...1500 \text{ мин}^{-1}$) формовочная смесь выбрасывается в опоку со скоростью 30...60 м/с. Метательная головка может перемещаться над опокой. Пескомет – высокопроизводительная формовочная машина, его применяют при изготовлении крупных отливок в опоках и кессонах.

Безопочная автоматическая формовка.

Используется при изготовлении форм для мелких отливок из чугуна и стали в серийном и массовом производстве. Изготовление литейных форм осуществляется на высокопроизводительных пескодувно-прессовых автоматических линиях (рис. 1.14).

Формовочная камера заполняется смесью с помощью сжатого воздуха из головки 2. Уплотнение осуществляется при перемещении модельной плиты 1 плунжером 4. После

уплотнения поворотная модельная плита 3 отходит влево и поворачивается в горизонтальное положение.

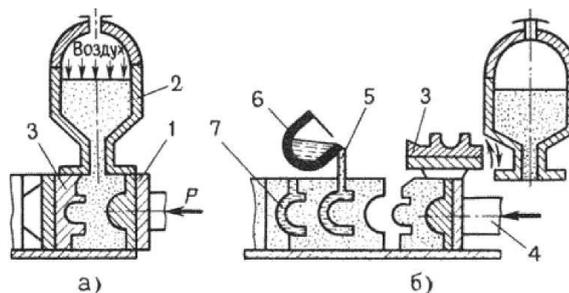


Рис. 1.14. Изготовление безопасных литейных форм

Полуформа перемещается плунжером 4 до соприкосновения с предыдущим комом, образуя полость 5. Затем производят заливку металла из ковша 6. После затвердевания и охлаждения отливки, формы подаются на выбивную решетку, где отливки 7 освобождаются от формовочной смеси.

Изготовление стержней.

Изготовление стержней осуществляется вручную или на специальных стержневых машинах из стержневых смесей. Изготовление стержней включает операции: формовка сырого стержня, сушка, окраска сухого стержня. Если стержень состоит из нескольких частей, то после сушки их склеивают. Ручная формовка осуществляется в стержневых ящиках. В готовых стержнях выполняют вентиляционные каналы. Для придания стержням необходимой прочности используются арматурные каркасы из стальной проволоки или литого чугуна. Готовые стержни подвергаются сушке при температуре 200...230 °С, для увеличения газопроницаемости и прочности. Во время сушки из стержня удаляется влага, частично или полностью выгорают органические примеси

Часто стержни изготавливают на пескодувных машинах. При использовании смесей с синтетическими смолами, стержни изготавливают в нагреваемой оснастке. Изготовление стержней из жидкостекольных смесей состоит в химическом отверждении жидкого стекла путем продувки стержня углекислым газом.

Изготовление отливок в песчаных формах. Приготовление расплава.

Приготовление литейных сплавов связано с плавлением различных материалов. Для получения заданного химического состава и определенных свойств, в сплав в жидком или твердом состоянии вводят специальные легирующие элементы: хром, никель, марганец, титан и др.

Для плавления чугуна и стали, в качестве исходных материалов применяют литейные или передельные доменные чугуны, чугуновый и стальной лом, отходы собственного производства, а также для понижения температуры плавления и образования шлаков – флюсы (известняк).

Чугуны, в основном, выплавляют в вагранках. В последнее время развивается плавка в электрических печах, а также дуплекс-процесс, в особенности, вариант вагранка – индукционная печь. Плавку стали ведут в электродуговых, индукционных и плазменно-индукционных печах.

Для плавления цветных металлов используют как первичные, полученные на металлургических заводах, так и вторичные, после переплавки цветного лома, металлы и сплавы, а также – флюсы (хлористые и фтористые соли). Для плавления применяют индукционные печи промышленной частоты, электрические печи сопротивления. Плавку тугоплавких металлов и сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

Сборка и заливка литейной формы.

Сборка литейной формы включает: установку нижней полуформы; установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы; установку верхней полуформы по центрирующим штырям.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Важное значение имеет температура расплавленного металла. Целесообразно назначать ее на 100...150°C выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки. Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Охлаждение, выбивка и очистка отливок.

Охлаждение отливок до температуры выбивки длится от нескольких минут (для небольших тонкостенных отливок) до нескольких суток и недель (для крупных толстостенных отливок). Для сокращения продолжительности охлаждения используют методы принудительного охлаждения: обдувают воздухом; при формовке укладывают змеевики, по которым пропускают воздух или воду.

Выбивка отливки – процесс удаления затвердевшей и охлажденной до определенной температуры отливки из литейной формы, при этом литейная форма разрушается. Осуществляют на специальных выбивных установках. Форма выталкивается из опоки выталкивателем на виброжелоб, по которому направляется на выбивную решетку, где отливки освобождаются от формовочной смеси. Выбивку стержней осуществляют вибрационно-пневматическими и гидравлическими устройствами.

Обрубка отливок – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливов по месту сопряжения полуформ. Осуществляется пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, при помощи газовой резки и на прессах. После обрубки отливки зачищают, удаляя мелкие заливки, остатки выпоров и литников. Выполняют зачистку маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок. Осуществляется в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия (для мелких отливок), в гидросебестоимых и дробебетных камерах, а также химической или электрохимической обработкой.

Специальные способы литья.

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие.

Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Литье в оболочковые формы.

Литье в оболочковые формы – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей. Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением терморезистивных связующих материалов. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рис. 1.15.

Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до 200...250°C. Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 1.15 а) и поворачивают на 180° (рис. 1.15 б). Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, терморезистивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 1.15 в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350°C, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка

снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рис. 1.15 г). Аналогичным образом получают вторую полуформу.

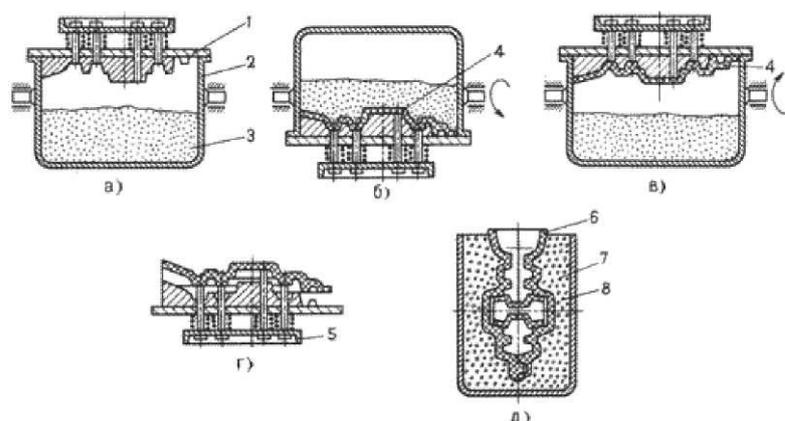


Рис. 1.15. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб). Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью разреза укладывают на слой песка. Формы с вертикальной плоскостью разреза б и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры 7 и засыпают чугунной дробью 8 (рис. 1.15 д).

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом. В оболочковых формах изготавливают отливки массой 0,2...100 кг с толщиной стенки 3...15 мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков.

Литье по выплавляемым моделям.

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям представлены на рис. 1.16.

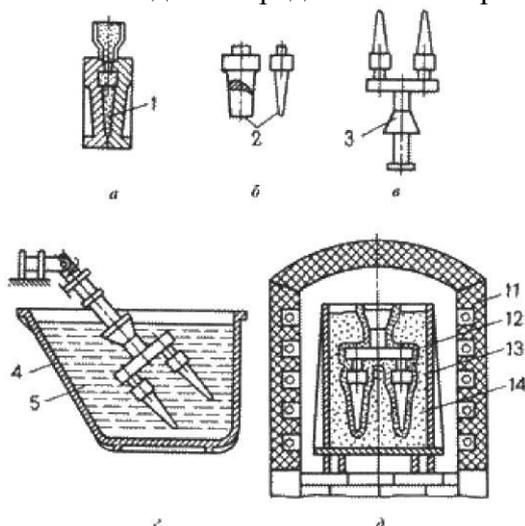


Рис. 1.16. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах 1 (рис. 1.16 а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рис. 1.16 б) выталкивается в холодную воду. Затем модели

собираются в модельные блоки 3 (рис. 1.16 в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют 2...100 моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рис. 1.16 г) с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3...5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6...8 часов при температуре 850...950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рис. 1.16 д)

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д. После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02...15 кг с толщиной стенки 0,5...5 мм. Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки. Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин), коррозионно-стойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность). Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

Литье в металлические формы.

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали. Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона, двух симметричных полуформ и металлического стержня, предварительно нагретую до 150...180°С покрывают из пульверизатора слоем огнеупорного покрытия толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой. Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень, с помощью которого в отливке выполняется полость. Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают и протягивают вниз металлический стержень. Отливка удаляется манипулятором из кокиля.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом. Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы. Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов. Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства. Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

Изготовление отливок центробежным литьем.

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок. Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждаются водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200°C.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси металл из ковша заливают во вращающуюся форму, укрепленную на шпинделе, который вращается от электродвигателя. Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка извлекается. Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения изложницу устанавливают на опорные ролики и закрывают кожухом. Расплавленный металл из ковша заливают через желоб, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением. Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железнодорожных и трамвайных вагонов). Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Литье под давлением.

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением. Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 1.17) расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рис. 1.17 а). Затем металл плунжером 5, под

давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рис. 1.17 б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рис. 1.17 в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

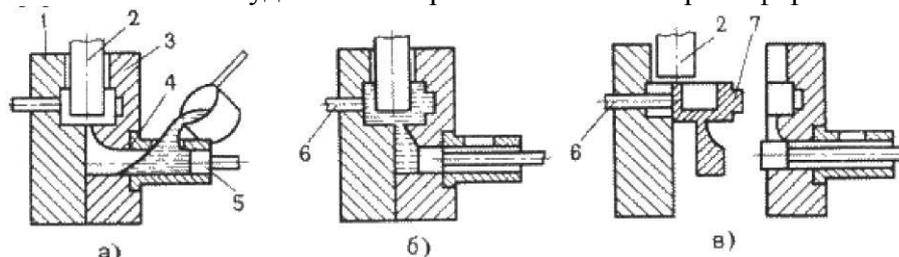


Рис. 1.17. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...320°C. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 1.18) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением 10...30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями 6. Получают отливки из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг. При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на 10...20°C выше температуры плавления.

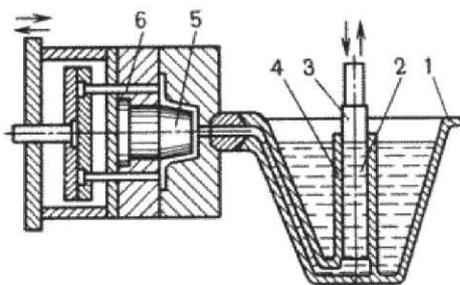


Рис. 1.18. Схема изготовления отливки на машинах с горячей камерой прессования

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса. Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

Изготовление отливок электрошлаковым литьем.

Сущность процесса электрошлакового литья заключается в переплаве расходного электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе). При этом операции расплавления металла, его заливка и выдержка отливки в форме совмещены по месту и времени. Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем представлена на рис. 1.19.

В качестве расходного электрода используется прокат. В кристаллизатор 6 заливают расплавленный шлак 4 (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электросопротивлением.

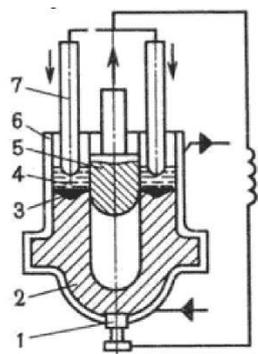


Рис. 1.19. Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем

При пропускании тока через электрод 7 и затравку 1 выделяется значительное количество теплоты, и шлаковая ванна нагревается до 1700°C , происходит оплавление электрода. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 3. Она в водоохлаждаемой форме затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов отливку 2. Внутренняя полость образуется металлической вставкой 5. Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Изготавливаются отливки ответственного назначения массой до 300 тонн: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых двигателей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, ротора турбогенераторов.

Изготовление отливок непрерывным литьем.

При непрерывном литье (рис. 1.20) расплавленный металл из металлоприемника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3 и затвердевает в виде отливки 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины.

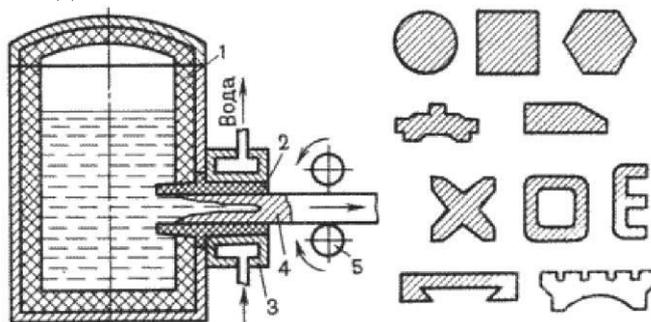


Рис. 1.20. Схема непрерывного литья (а) и разновидности получаемых отливок (б)

Используют при получении отливок с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

Особенности изготовления отливок из различных сплавов.

Чугун. Преобладающее количество отливок из серого чугуна изготавливают в песчаных формах. Отливки получают, как правило, получают без применения прибылей. При изготовлении отливок из серого чугуна в кокилях, в связи с повышенной скоростью охлаждения при затвердевании, начинает выделяться цементит – появление отбеливания. Для предупреждения отбела на рабочую поверхность кокиля наносят малотеплопроводные покрытия. Кокили перед работой их нагревают, а чугун подвергают модифицированию. Для устранения отбела отливки подвергают отжигу. Отливки типа тел вращения (трубы, гильзы, втулки) получают центробежным литьем.

Отливки из высокопрочного чугуна преимущественно изготавливают в песчаных формах, в оболочковых формах, литьем в кокиль, центробежным литьем. Достаточно высокая усадка чугуна вызывает необходимость создания условий направленного затвердевания отливок для

предупреждения образования усадочных дефектов в массивных частях отливки путем установки прибылей и использования холодильников. Расплавленный чугун в полость формы подводят через сужающуюся литниковую систему и, как правило, через прибыль.

Особенностью получения отливок из ковкого чугуна является то, что исходный материал – белый чугун имеет пониженную жидкотекучесть, что требует повышенной температуры заливки при изготовлении тонкостенных отливок. Для сокращения продолжительности отжига чугун модифицируют алюминием, бором, висмутом. Отливки изготавливают в песчаных формах, а также в оболочковых формах и кокилях.

Стальные отливки. Углеродистые и легированные стали – 15Л, 12Х18Н9ТЛ, 30ХГСЛ, 10Х13Л, 110Г13Л – литейные стали. Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку до 2,5%, склонны к образованию трещин. Стальные отливки изготавливают в песчаных и оболочковых формах, литьем по выплавляемым моделям, центробежным литьем. Для предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках на массивные части устанавливают прибыли, а в тепловых узлах – используют наружные или внутренние холодильники. Для предупреждения трещин формы изготавливают из податливых формовочных смесей, в отливках предусматривают технологические ребра.

Подачу расплавленного металла для мелких и средних отливок выполняют по разьему или сверху, а для массивных – сифоном. В связи с низкой жидкотекучестью площадь сечения питателей в 1,5...2 раза больше, чем при литье чугуна. Для получения высоких механических свойств, стальные отливки подвергают отжигу, нормализации и другим видам термической обработки.

Алюминиевые сплавы. Основные литейные сплавы – сплавы системы алюминий – кремний (силумины) Силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9) имеют высокую жидкотекучесть, малую усадку (0,8...1%), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что по химическому составу близки к эвтектическим сплавам (интервал кристаллизации составляет 10...30°C). Остальные алюминиевые сплавы имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль, под давлением, в песчаные формы. Используют кокили с вертикальным разъемом. Для получения плотных отливок устанавливают массивные прибыли. Металл подводят через расширяющиеся литниковые системы с нижним подводом металла к тонким сечениям отливки. Все элементы литниковой системы размещают в плоскости разъема кокиля.

Медные сплавы. Бронзы (БрО5Ц5С5, БрАЖЗЛ) и латуни (ЛЦ40Мц3А). Все медные сплавы склонны к образованию трещин. Отливки изготавливаются литьем в песчаные и оболочковые формы, а также литьем в кокиль, под давлением, центробежным. Для предупреждения образования усадочных раковин и пористости в массивных узлах отливок устанавливают прибыли. Для предупреждения появления трещин в отливках используют форму с высокой податливостью. Для плавного поступления металла применяют расширяющиеся литниковые системы с верхним, нижним и боковым подводом. Для отделения оксидных пленок в литниковой системе устанавливают фильтры из стеклоткани.

Титановые сплавы. Имеют высокую химическую активность в расплавленном состоянии. Они активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и углеродом. Плавку этих сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов. Основной способ производства титановых отливок – литье в графитовые формы, в оболочковые формы из нейтральных оксидов магнезия, циркония. При изготовлении сложных тонкостенных отливок применяют формы, полученные по выплавляемым моделям.

Дефекты отливок и их исправление.

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют: на наружные (песчаные раковины, перекосяк недолив); внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины). Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

Переко́с – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установке стержня.

Недолив – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучести, недостаточным сечением элементов литниковой системы.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением. Возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, заливки перегретым металлом, неправильная установка прибылей.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которая возникает из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы, неправильной конструкции отливок, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.

Методы обнаружения дефектов.

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки. Внутренние дефекты определяют радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгенография, гаммаграфия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки при встрече с границей дефекта (трещиной, раковиной) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефекта.

Трещины выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Методы исправления дефектов.

Незначительные дефекты исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

Заделка замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают. После заполнения исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание применяют для устранения пористости. Отливки на 8...12 часов погружают в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющий поры отливок. Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава.

Техника безопасности и охрана окружающей среды в литейном производстве.

Производство отливок связано с использованием токсичных веществ (формовочные смеси с жидким стеклом). Должны быть предусмотрены меры, исключаящие контакт обслуживающего персонала с едким натром. При работе со стержневыми смесями (синтетическая фенолформальдегидные смолы) запрещается работа без резиновых перчаток. Места заливки литейных форм должны быть обеспечены вентиляцией для удаления продуктов сгорания.

Машины литья под давлением должны быть снабжены блокировками, исключающими возможность создания давления до закрытия пресс-форм. Между машинами устанавливают защитные металлические щиты, предохраняющие от возможного аварийного выплеска из разъема формы.

Литейные цехи снабжены надежной вентиляцией, устройствами воздушных душей или тепловых завес на рабочих местах. Шумопроизводящее оборудование размещают в специальных изолированных помещениях. Для улучшения санитарно-гигиенических условий труда широко внедряются: современные плавильные печи, в которых газы подвергаются очистке, а теплота утилизируется; установки для очистки дымовых газов от хлоридов; новые нетоксичные связующие материалы и технологические процессы изготовления стержней.

Охрану водных бассейнов осуществляют путем создания эффективных способов очистки загрязненных производственных стоков и оборотного водоснабжения. Сброс сточных вод осуществляется, если содержание вредных примесей ниже предельно допустимых концентраций. Для удаления грубодисперсных примесей применяют отстаивание, фильтрацию.

Технологичность конструкций литых форм.

Конструкция литой детали должна обеспечивать высокий уровень механических и эксплуатационных характеристик при заданной массе, конфигурации, точности размеров и шероховатости поверхности. При проектировании отливки должны учитываться литейные свойства сплавов, а также технологии изготовления модельного комплекта, литейной формы, стержней, очистка и обрубка отливок, а также их дальнейшая обработка. Необходимо стремиться к уменьшению массы и упрощению конфигурации.

Основы конструирования литых заготовок.

Минимальную толщину необрабатываемых стенок отливки определяют по диаграмме (рис. 1.21) в зависимости от габаритного размера $N = (21 + b + h) / 3$.

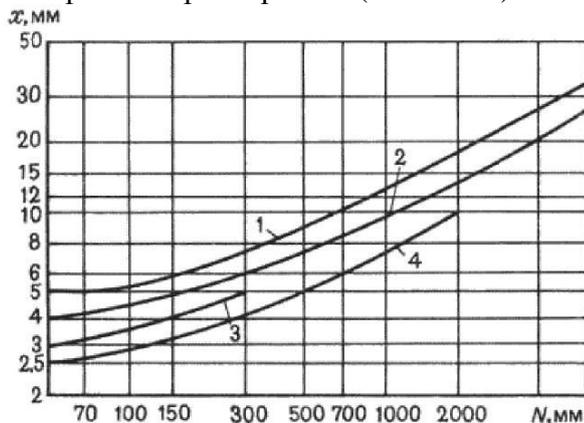


Рис. 1.21. Диаграммы для определения минимальной толщины стенок отливок из различных сплавов: 1 – стали; 2 – серого чугуна; 3 – бронзы; 4 – алюминиевых сплавов

Толщина внутренних стенок и ребер принимается на 20 % меньше толщины наружных стенок. Получение отливок без усадочных дефектов достигается при равномерной толщине стенок, т.е. если отсутствуют термические узлы – большое скопление металла в отдельных местах. Отливки, затвердевающие одновременно должны иметь равномерную толщину стенок с плавными переходами. Принцип применяется для мелких и средних тонкостенных отливок из чугуна и других сплавов. При направленном затвердевании верхние сечения отливок питаются от прибылей. Верхние сечения служат прибылью для нижних сечений. Принцип направленного затвердевания применяется для деталей с повышенными требованиями к герметичности отливок.

Для снижения литейных напряжений необходимо обеспечить свободную усадку элементов отливки. Корпусная деталь (рис. 1.22 а) имеет перегородки, которые затрудняют процесс усадки, в результате чего возникают значительные литейные напряжения. Конструкция, представленная на рис. 1.22 б, обеспечивает свободную усадку. Придание перегородкам конической формы (рис. 1.22 в) также снижает усадочные напряжения.

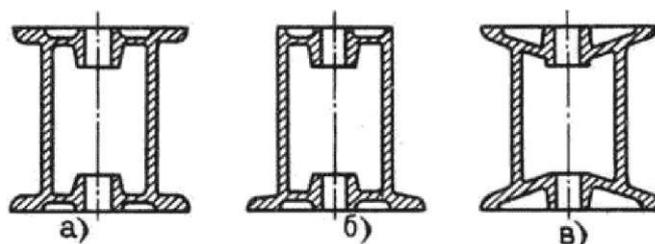


Рис. 1.22. Конструкции литых деталей, снижающие усадочные напряжения в отливках

Коробление отливок, возникающее из-за недостаточной жесткости конструкции, можно устранить путем установки ребер жесткости. Кромки стенок большой протяженности усиливают буртиками.

Отливки, изготавливаемые литьем в песчаные формы.

Внешние контуры отливок должны представлять собой сочетание простых геометрических тел с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей с плавными переходами. Стремятся к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты литой детали. Это облегчает изготовление модельного комплекта, а также процессы формовки, сборки форм и очистки отливок. При этом отливка должна иметь один плоский разъем и располагаться по возможности в одной полуформе. Контуры литых деталей должны обеспечивать формовку без дополнительных стержней (отсутствие поднутрений). Необрабатываемые поверхности, перпендикулярные к плоскости разъема, должны иметь конструктивные уклоны.

Бобышки, приливы и другие выступающие части необходимо конструировать так, чтобы не затруднять извлечение модели из формы. При изготовлении нетехнологичных отливок требуется применение в моделях отъемных частей или стержней, что усложняет процесс формовки.

Внутренние полости сложных отливок необходимо изготавливать с минимальным числом стержней. В конструкции должно быть достаточное число окон для прочного крепления стержней в форме, удаления газов из стержня и удобства выбивки стержней из отливки. В конструкции детали следует избегать пазов и узких полостей, при выполнении которых возможно образование песчаных раковин, из-за разрушения стержней потоком расплавленного металла. Минимальные диаметры отверстий в отливках выбираются в зависимости от материала и толщины стенки.

Основные положения к выбору способа литья.

При выборе способа литья для получения заготовки в первую очередь должен быть рассмотрен вопрос экономии металла. Металлоемкость можно снизить конструктивными и технологическими мероприятиями. Часто закладывается неоправданно большой запас прочности деталей, работающих при незначительных нагрузках. За счет изменения конструкции, образования выемок, изменения толщины стенок, применения коробчатых или тавровых сечений можно достичь значительной экономии металла. При анализе требований, предъявляемых в процессе эксплуатации, возможна замена дорогостоящих материалов.

При выборе способа получения отливки необходимо оценить все положительные и отрицательные стороны возможных технологических процессов, провести сравнительный анализ. При сравнении различных способов литья необходимо учитывать различные факторы.

Технологические свойства сплава. При пониженной жидкотекучести нежелательно применять литье в металлические формы. При высокой склонности к усадке нежелательно применять литье в металлические формы, так как возможно образование трещин из-за низкой податливости формы, а также литье под давлением из-за сложности пресс-формы. Возможности способов для получения отливок без дефектов литейного происхождения и для обеспечения равномерной мелкозернистой структуры, высоких механических свойств.

Технологичность конструкции детали применительно к каждому рассматриваемому способу. Сложные по конфигурации отливки получают литьем под давлением, по выплавляемым моделям, в песчаных формах. Литьем в кокиль получают отливки с простой наружной конфигурацией, а центробежным литьем – отливки типа тел вращения.

Наиболее тонкостенные отливки получают литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением. Специальные способы литья применяют для получения мелких и средних отливок, при литье в песчаные формы габариты и масса отливок не ограничены.

Следует выбирать способ, обеспечивающий заданную точность размеров и шероховатость поверхности. Высокое качество поверхности дает возможность сохранить при механической обработке литейную корку, имеющую повышенную твердость и износостойкость, снизить себестоимость готовых деталей за счет экономии металла.

Специальные способы литья целесообразно применять в крупносерийном и массовом производствах. Необходимо учитывать возможности имеющегося оборудования, уровень литейной технологии и технологии механической обработки. Наиболее точным показателем, определяющим эффективность применения того или иного способа, является себестоимость.

ТЕМА 2 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала. Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия. Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

Классификация процессов обработки давлением.

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

– для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;

– для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются: сжатие между плоскостями инструмента – ковка; ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка; затекание металла в полость инструмента – штамповка; выдавливание металла из полости инструмента – прессование; вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения. Губкиным С.И. предложено различать виды деформации и, соответственно, виды обработки давлением.

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформированными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разруше-

нию. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

При неполной холодной деформации рекристаллизация не происходит, но протекают процессы возврата. Температура деформации несколько выше температуры возврата, а скорость деформации меньше скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

При холодной деформации разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата.

Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

Схемы напряженного и деформированного состояний.

Схемы напряженного состояния графически отображают наличие и направление главных напряжений в рассматриваемой точке тела. Напряжения в точке изображаются как напряжения на трех бесконечно малых гранях куба, соответственно перпендикулярных главным осям. Возможны девять схем напряженного состояния (рис. 2.1 а). Напряженное состояние в точке может быть линейным, плоским или объемным.

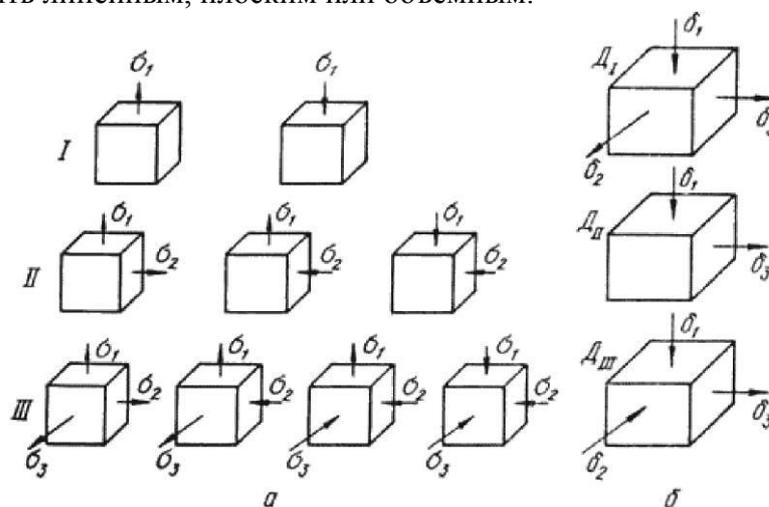


Рис. 2.1. Схемы напряженного (а) и деформированного (б) состояний:
I – линейное напряженное состояние; II – плоское; III – объемное

Схемы с напряжениями одного знака называют одноименными, а с напряжениями разных знаков – разноименными. Условно растягивающие напряжения считают положительными, сжимающие – отрицательными.

Схема напряженного состояния оказывает влияние на пластичность металла. На значение главных напряжений оказывают существенное влияние силы трения, возникающие в месте контакта заготовки с инструментом, и форма инструмента. В условиях всестороннего неравномерного сжатия при прессовании, ковке, штамповке сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкуристаллических связей, способствуют развитию внутрикристаллических сдвигов, что благоприятно сказывается на процессах обработки металлов давлением. В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев встречаются схемы всестороннего сжатия и состояния с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями.

Схема деформированного состояния графически отображает наличие и направление деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Возможны три схемы деформированного состояния (рис. 2.1.б).

При схеме Д I уменьшаются размеры тела по высоте, за счет этого увеличиваются два других размера (осадка, прокатка).

При схеме Д II происходит уменьшение одного размера, чаще высоты, другой размер (длина) увеличивается, а третий (ширина) не изменяется. Например, прокатка широкого ли-

ста, когда его ширина в процессе прокатки практически не изменяется. Это схема плоской деформации.

Наиболее рациональной с точки зрения производительности процесса обработки давлением является схема Д III: размеры тела уменьшаются по двум направлениям, и увеличивается третий размер (прессование, волочение).

Совокупность схем главных напряжений и главных деформаций характеризуют пластичность металла. Напряженное состояние при прессовании металла характеризуется такой же схемой напряженного состояния, как при ковке, а схема главных деформаций характеризуется двумя деформациями сжатия и одной – растяжения. При ковке и штамповке растягивающие напряжения играют большую роль, поэтому пластичность металла меньше.

Закономерности обработки давлением. Характеристики деформаций.

Процессам обработки металлов давлением присущи определенные закономерности. *Закон постоянства объема.* Пластическая деформация практически не влияет на плотность металла, поэтому действует закон постоянства объема: объем тела при его пластической деформации остается неизменным. Закон применяется для расчетов объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, а также переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон подобия. При осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затраченных работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров. Этот закон, основанный на принципе моделирования, используется для приближенного определения усилий деформирования и затрачиваемой работы.

Закон наименьшего сопротивления. В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления. Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением. По этому закону, при наличии трения на контактной поверхности, заготовка прямоугольного сечения при осадке будет приобретать округлую форму, имеющую наименьший периметр при данной площади. В этом случае направлением наименьшего сопротивления является кратчайшая нормаль к периметру сечения.

Деформацию принято оценивать следующими величинами.

1. Абсолютные деформации: обжатие; уширение; удлинение.
2. Относительные деформации: относительное обжатие или относительная высотная деформация; относительное уширение или относительная поперечная деформация; относительное удлинение или относительная продольная деформация.
3. Коэффициент, определяющий изменение длины обрабатываемого изделия называют вытяжкой или коэффициентом вытяжки.

Скорость деформации – изменение относительной деформации в единицу времени.

Скорость деформации следует отличать от скорости движения деформирующего инструмента и скорости течения металла при деформации. Диапазон скоростей деформации составляет $10^{-1} \dots 10^3, \text{с}^{-1}$.

Технологические свойства.

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь. Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает. В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряжен-

ного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Состав и структура металла. Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности. Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или ковальной заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

Характер напряженного состояния. Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Еще в 1912 году немецкий ученый Карман осаживал образцы из мрамора и песчаника, помещенные в толстостенный цилиндр, в который нагнетался глицерин под давлением до 170 МН/м^2 . Деформация происходила при схеме всестороннего сжатия. В результате остаточная деформация образцов составила 9 %, в дальнейшем удалось достигнуть деформации в 78 %. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

Неравномерность деформации. Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

Скорость деформации. С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Влияние температуры. Качественная зависимость пластичности от температуры представлена на рис. 2.2.

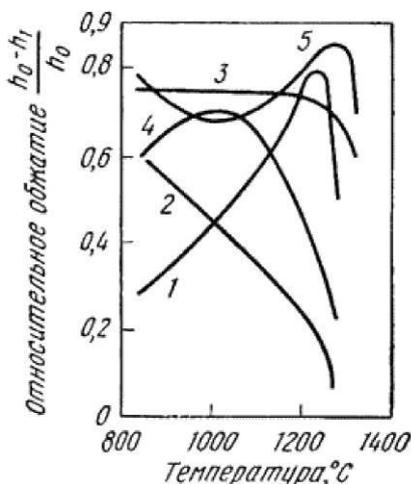


Рис. 2.2. Влияние температуры на пластичность сталей

Влияние температуры неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными (1). Высоколегированные стали

имеют большую пластичность в холодном состоянии (2). Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры (3). Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности (4). Техническое железо в интервале 800...1000°C характеризуется понижением пластических свойств (5). При температурах, близких к температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

Технологические испытания.

Для оценки способности материала воспринимать определенную деформацию в условиях, максимально приближенных к производственным, служат технологические испытания. Такие оценки носят качественный характер. Они необходимы для определения пригодности материала для изготовления изделий по технологии, предусматривающей значительную и сложную пластическую деформацию.

Для определения способности листового материала толщиной до 2 мм выдерживать операции холодной штамповки (вытяжки) применяют метод испытания на вытяжку сферической лунки с помощью специальных пуансонов, имеющих сферическую поверхность (ГОСТ 10510). В процессе испытания фиксируется усилие вытяжки. Конструкция прибора предусматривает автоматическое прекращение процесса вытяжки в тот момент, когда усилие начинает уменьшаться (в материале появляются первые трещины). Мерой способности материала к вытяжке служит глубина вытянутой лунки.

Лист или ленту толщиной менее 4 мм испытывают на перегиб (ГОСТ 13813). Испытание проводят с помощью приспособления, изображенного на рис. 2.4.

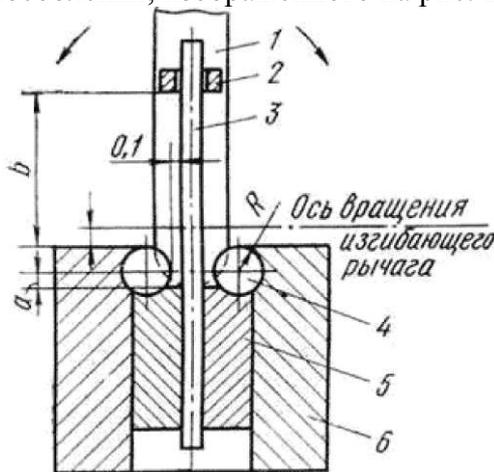


Рис. 2.3. Схема испытания на перегиб 1 – рычаг; 2 – сменный поводок; 3 – образец; 4 – валики; 5 – губки; 6 – тиски

Образец изгибают вначале влево или вправо на 90°, а затем каждый раз на 180° в противоположную сторону. Критерием окончания испытания является разрушение образца или достижение заданного числа перегибов без разрушения.

Проволоку из цветных и черных металлов испытывают на скручивание (ГОСТ 1545) с определением числа полных оборотов до разрушения образцов, длина которых обычно составляет $100 \times d$ (d – диаметр проволоки). Применяют также испытание на перегиб (ГОСТ 1579) по схеме, аналогичной испытанию листового материала. Проводят пробу на навивание (ГОСТ 10447). Число витков должно быть в пределах 5...10. Признаком того, что образец выдержал испытание, является отсутствие после навивания расслоения, отслаивания, трещин или надрывов как в основном материале образца, так и в его покрытии.

Для труб с внешним диаметром не более 114 мм применяют пробу на загиб (ГОСТ 3728). Испытание заключается в плавном загибе отрезка трубы любым способом на угол 90° так, чтобы его наружный диаметр ни в одном месте не стал меньше 85 % от начального. ГОСТ устанавливает величину радиуса загиба R в зависимости от диаметра трубы D и толщины стенки S . Образец считается выдержавшим испытание, если на нем после загиба не обнаружено нарушений сплошности металла. Образцы сварных труб должны выдерживать испытания при любом положении шва.

Испытание на бортование (ГОСТ 8693) применяют для определения способности материала труб образовывать фланец заданного диаметра. Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие после отбортовки трещин или надрывов. Допускается отбортовка с предварительной раздачей на оправке.

Испытание на раздачу (ГОСТ 8694) выявляет способность материала трубы выдерживать деформацию при раздаче на конус до определенного диаметра с заданным углом конусности. Если после раздачи образец не имеет трещин или надрывов, то он считается выдержавшим испытание.

Для труб предусмотрены испытание на сплющивание до определенного размера, причем для сварных труб ГОСТ 8685 предусматривает положение шва, испытание гидравлическим давлением.

Для испытания проволоки или прутков круглого и квадратного сечения, предназначенных для изготовления болтов, гаек и других крепежных деталей методом высадки, используют пробу на осадку (ГОСТ 8817). Стандарт рекомендует определенную степень деформации. Критерием годности является отсутствие трещин, надрывов, расслоений на боковой поверхности образца.

Для прутковых материалов широко применяется проба на изгиб: загиб до определенного угла (рис. 2.4 а), загиб до параллельности сторон (рис. 2.4 б), загиб до соприкосновения сторон (рис. 2.4 в).

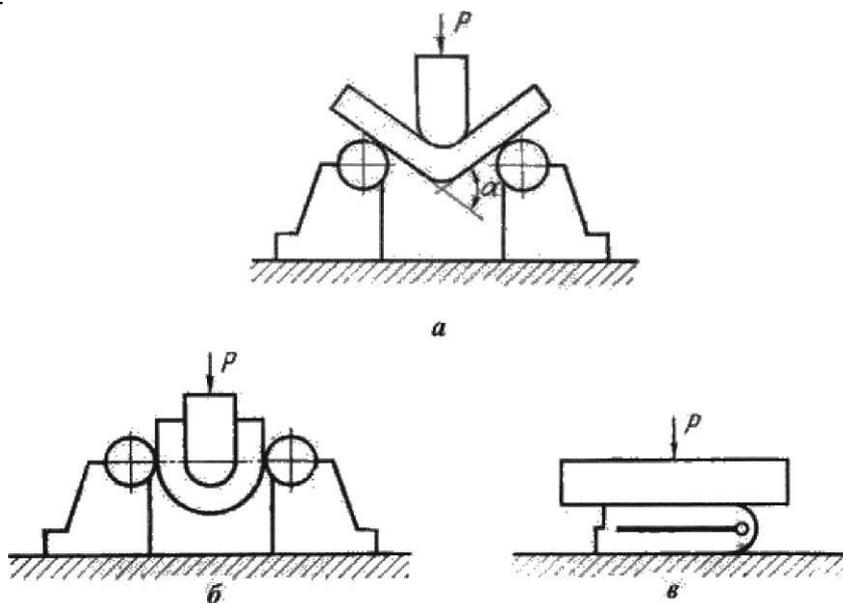


Рис. 2.4. Схемы испытаний на изгиб: а – загиб до определенного угла; б – загиб до параллельности сторон; в – до соприкосновения сторон

Прокат и его производство.

Прокатка – это способ обработки пластическим деформированием – наиболее распространенный. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Способ зародился в XVIII веке и, претерпев значительное развитие, достиг высокого совершенства.

Сущность процесса: заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину. Форма поперечного сечения называется профилем. Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила и касательная сила трения (рис. 2.5).

Угол – угол захвата, дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом – дуга захвата, а объем металла между дугами захвата – очаг деформации. Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением

$T' > N'$, где: T' – втягивающая сила - проекция силы трения T на горизонтальную ось; N' – выталкивающая сила – проекция нормальной реакции валков N на горизонтальную ось. При этом условии результирующая сила будет направлена в сторону движения металла. Для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

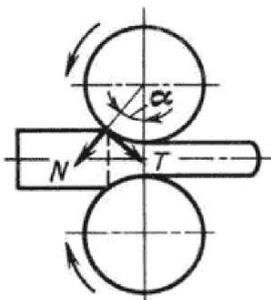


Рис. 2.5. Схема сил, действующих при прокатке

Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках. При прокатке стали $\alpha = 20...25^\circ$, при горячей прокатке листов и полос из цветных металлов – $\alpha = 12...15^\circ$, при холодной прокатке листов – $\alpha = 2...10^\circ$.

Степень деформации характеризуется показателями: абсолютное обжатие $\Delta h = H - h$ (H и h – начальная и конечная высоты заготовки); относительное обжатие $\varepsilon = (H - h) / H$.

Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый вытяжкой (коэффициентом вытяжки) $\mu = l_1 / l_0 = F_0 / F_1$, где: l_0 и F_0 – первоначальные длина и площадь поперечного сечения, l_1 и F_1 – те же величины после прокатки. Вытяжка обычно составляет 1,1...1,6 за проход, но может быть и больше.

Способы прокатки.

Когда требуется высокая прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового или специального проката. В процессе прокатки литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего повышается плотность материала за счет залечивания литейных дефектов, пористости, микротрещин. Это придает заготовкам из проката высокую прочность и герметичность при небольшой их толщине. Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно – винтовая (рис. 2.6).

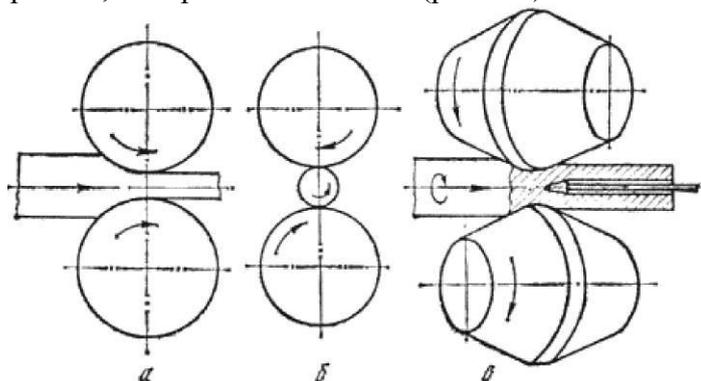


Рис. 2.6. Схемы основных видов прокатки: а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

При *продольной прокатке* деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис. 2.6 а). Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

Поперечная прокатка (рис. 2.6 б). Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном. В процессе поперечной прокатки

обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

Поперечно-винтовая прокатка (рис. 2.6 в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют валки прокатные, конструкция которых представлена на рис. 2.7. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рис. 2.7 а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) (рис. 2.7 б) для получения сортового проката.

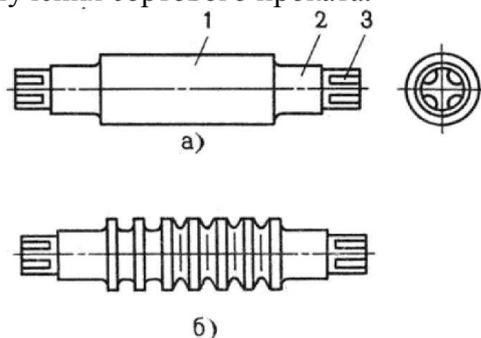


Рис. 2.7. Прокатные валки: а – гладкий; б – калиброванный

Ручей – профиль на боковой поверхности валка. Промежутки между ручьями называются буртами. Совокупность двух ручьев образует полость, называемую калибром, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров называется калибровкой. Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трефы 3.

Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей. Трефа предназначена для соединения валка с муфтой или шпинделем. Используются роликовые подшипники с низким коэффициентом трения, $f = 0,003 \dots 0,005$, что обеспечивает большой срок службы.

Технологический процесс прокатки/

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки. Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки.

Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена). Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката. Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева. Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива.

Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при температуре $1200 \dots 1150^\circ\text{C}$, а заканчивается при температуре $950 \dots 900^\circ\text{C}$.

Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При прокатке контролируется температура начала и конца процесса, режим обжаривания, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю. Процесс прокатки осуществляют на специальных прокатных станах.

Прокатный стан – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.). Оборудование для деформирования металла называется основным и располагается на главной линии прокатного стана (линии рабочих клетей).

Главная линия прокатного стана состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Схема главной линии прокатного стана представлена на рис. 2.8.

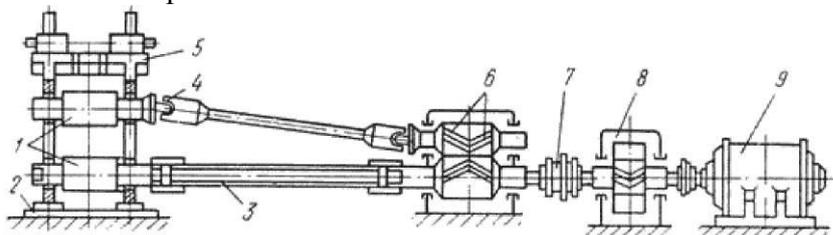


Рис. 2.8. Схема главной линии прокатного стана 1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – трехвалковый шпиндель; 4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клетка; 6 – шестеренная клетка; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Прокатные валки 1 установлены в рабочей клетке 5, которая воспринимает давление прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового проката) бочки. В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (квартостан) и универсальные (рис. 2.9).

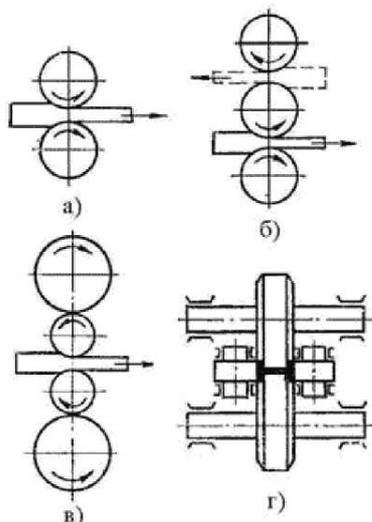


Рис. 2.9. Рабочие клетки прокатных станов

В двухвалковых клетях (рис.2.9 а) осуществляется только по одному пропуску металла в одном направлении. Металл в трехвалковых клетях (рис. 2.9 б) движется в одну сторону между нижним и верхним, а в обратную – между средним и верхним валками.

В четырехвалковых клетях (рис. 2.9 в) устанавливаются опорные валки, которые позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижаются деформирующие усилия.

Универсальные клетки (рис. 2.9 г) имеют неприводные вертикальные валки, которые находятся между опорами подшипников горизонтальных валков и в одной плоскости с ними.

Шестеренная клеть 6 предназначена для распределения крутящего момента двигателя между валками. Это одноступенчатый редуктор, передаточное отношение которого равно единице, а роль шестерен выполняют шестеренные валки.

Шпиндели предназначены для передачи крутящего момента от шестеренной клетки прокатным валкам при отклонении от соосности до $10...12^\circ$. При незначительном перемещении в вертикальной плоскости применяют шпиндели трещового типа 3 в комплекте с трещовой муфтой. Внутренние очертания трещовых муфт отвечают форме сечения хвостовика валка или шпинделя. Муфтой предусмотрен зазор $5...8$ мм, что допускает возможность работы с перекосом $1...2$ 0. При значительных перемещениях валков в вертикальной плоскости ось шпинделя может составлять значительный угол с горизонтальной плоскостью, в этом случае применяют шарнирные или универсальные шпиндели 4, которые могут передавать крутящий момент прокатным валкам при перекосе шпинделя до $10...12^\circ$.

В качестве двигателя прокатного стана 9 применяют двигатели постоянного и переменного тока, тип и мощность зависят от производительности стана. Редуктор 8 используется для изменения чисел оборотов при передаче движения от двигателя к валкам. Зубчатые колеса – обычно шевронные с наклоном спирали 30° . По назначению прокатные станы подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

Нагрев металла осуществляют в пламенных и электрических печах. По распределению температуры печи могут быть камерные и методические. В камерных печах периодического нагрева температура одинакова по всему рабочему пространству. В методических печах температура рабочего пространства постоянно повышается от места загрузки заготовок до места их выгрузки. Металл нагревается постепенно, методически. Печи характеризуются высокой производительностью. Применяются в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах для нагрева слитков из цветных металлов. Крупные слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах – разновидности камерных, пламенных печей.

В качестве транспортных устройств в прокатном производстве используют: слитковозы и различного вида тележки для подачи слитков и заготовок от нагревательных устройств к стану; рольганги – основное транспортное средство прокатных цехов (транспортеры с последовательно установленными вращающимися роликами обеспечивают продольное перемещение металла; при косом расположении роликов возникает возможность поперечного движения полосы); манипуляторы, предназначенные для правильной задачи полосы в калибр; кантователи, предназначенные для поворота заготовки вокруг горизонтальной оси.

Правка проката.

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки. Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы. Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении. Правку можно выполнять и растяжением полосы, если напряжения растяжения будут превышать предел текучести материала.

Роликоправильные машины с параллельно расположенными роликами предназначены для правки листа и сортового проката (рис. 2.10)

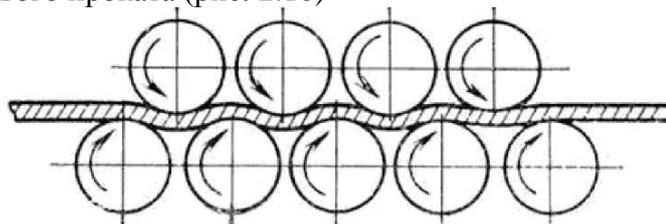


Рис. 2.10. Схема правки проката на роликоправильных машинах с параллельно расположенными роликами

Процесс правки заключается в прохождении полосы между двумя рядами последовательно расположенных роликов, установленных в шахматном порядке таким образом, что при движении полосы, ее искривление устраняется. Диаметр роликов – 25...370 мм, шаг – 30...400 мм, количество роликов: для тонких листов – 19...29, для толстых – 7...9.

Правильные машины с косо расположенными гиперболоидальными роликами предназначены для правки труб и круглых прутков (рис. 2.11).

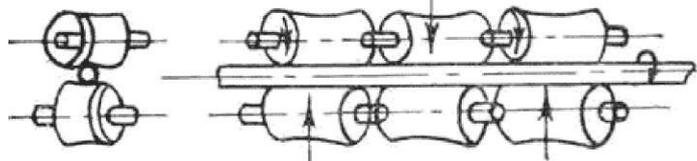


Рис. 2.11. Схема правки проката на машинах с косо расположенными гиперболоидальными роликами

Ролики выполняют в виде однополостного гиперболоида и располагают под некоторым углом друг к другу. Выправляемый металл, кроме поступательного движения, совершает вращательное, что вызывает многократные перегибы полосы роликами и обеспечивает осесимметричную правку.

Растяжные правильные машины используют для правки тонких листов (менее 0,3 мм), трудно поддающихся правке на роликотправильных машинах.

Разрезка и заготовительная обработка проката.

Производится на заготовительных участках механических цехов различными способами, отличающимися производительностью, точностью заготовки, стойкостью инструмента и др.

Разрезка пилами применяется для относительно крупных заготовок, в основном из цветных металлов. Заготовка характеризуется высокой точностью по длине, хорошим качеством среза, перпендикулярностью торца к оси. Основными недостатками являются низкая производительность и значительные потери металла на рез. Применяются пилы зубчатые и гладкие (трения).

Разрезка на эксцентриковых пресс-ножницах применяется для стального проката круглого или квадратного сечения до 300 мм. Является наиболее производительным и дешевым процессом разделки проката на заготовки. Основными недостатками являются косой рез и смятие концов заготовки. Заготовки из высокоуглеродистых и легированных сталей целесообразно подогреть до 450...650°C. Применяют ножи с плоской режущей кромкой и с ручьями.

Разрезка на токарных полуавтоматах отрезными резцами. Электроискровая и анодно-механическая резка обеспечивает максимальную точность размеров. Применяется для особо прочных металлов. Разрезка на прессах-хладоломах применяется для заготовок крупного сечения. На заготовке предварительно делается надрез пилой или газовым резаком. Газопламенная резка смесью ацетилена и кислорода.

Плазменно-дуговая резка применяется для высоколегированных тугоплавких сталей и сплавов. Вдоль электрической дуги по каналу плазмотрона пропускается газ (аргон), который сжимает дугу и выходит из сопла в виде плазмы с температурой 10000...30000°C.

Продукция прокатного производства.

Форма поперечного сечения называется профилем проката. Совокупность профилей различной формы и размеров – сортамент. В зависимости от профиля прокат делится на четыре основные группы: листовой, сортовой, трубный и специальный. В зависимости от того нагретая или холодная заготовка поступает в прокатные валки – горячий и холодный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов подразделяется на толстолистовой (4...60 мм), тонколистовой (0,2...4мм) и жель (менее 0,2 мм). Толстолистовой прокат получают в горячем состоянии, другие виды листового проката – в холодном состоянии. Прокатку листов и полос проводят в гладких валках.

Среди сортового проката различают: заготовки круглого, квадратного и прямоугольного сечения дляковки и прокатки; простые сортовые профили (круг, квадрат, шестигранник, полоса, лента); фасонные сортовые профили: профили общего назначения (уголок, швеллер, тавр, двутавр); профили отраслевого назначения (железнодорожные рельсы, автомобильный обод); профили специального назначения (профиль для рессор, напильников).

Трубный прокат получают на специальных трубопрокатных станах. Различают бесшовные горячекатаные трубы диаметром 25...550 мм и сварные диаметром 5...2500 мм. Трубы являются продуктом вторичного передела круглой и плоской заготовки.

Общая схема процесса производства бесшовных труб предусматривает две операции: 1 – получение толстостенной гильзы (прошивка); 2 – получение из гильзы готовой трубы (раскатка). Первая операция выполняется на специальных прошивочных станах в результате поперечно-винтовой прокатки. Вторую операцию выполняют на трубопрокатных раскатных станах различных конструкций: пилигримовых, автоматических и др. Схема прокатки труб на пилигримовом стане представлена на рис. 2.12.

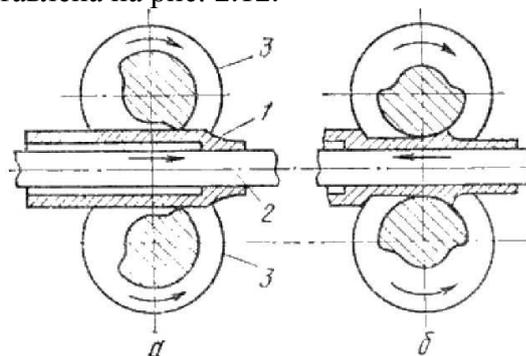


Рис. 2.12. Схема прокатки труб на пилигримовом стане

В толстостенную гильзу 1 вводят оправку (дорн) 2 подающего механизма, длина которой больше длины гильзы. Гильза перемещается к валкам 3, калибр которых разделяется на две части: рабочую и холостую. Рабочая часть валка имеет рабочий и калибрующий участки. Процесс работы заключается в периодической подаче на определенную длину гильзы вместе с оправкой в зазор между валками в момент совпадения холостой части обоих валков (рис. 2.12 а). Затем выполняется процесс прокатки, и гильза перемещается в направлении вращения валков, т.е. обратном ходу прокатываемой трубы (рис. 2.12 б). При этом рабочий участок обжимает гильзу по диаметру и толщине стенки, а калибрующий участок обеспечивает выравнивание диаметра и толщины стенки. После выхода из рабочей части оправка с гильзой продвигаются вперед, поворачиваясь на 90° вокруг продольной оси. По окончании прокатки валки разводят, и подающий механизм обратным ходом вытягивает оправку из трубы.

Сварные трубы изготавливают на трубосварочных агрегатах различными способами: печной сваркой, контактной электросваркой и др. из полос – штрипсов. Процесс получения трубы состоит из получения заготовки в виде свернутой полосы и сварки ее в трубу.

Особое место занимают станы спиральной сварки. Трубы получают завивкой полосы по спирали на цилиндрических оправках с непрерывной сваркой спирального шва автоматической сварочной головкой. Формовка осуществляется путем пластического изгиба в плоскости, расположенной под углом к продольной оси. Преимущества способа состоят в следующем: диаметр трубы не зависит от ширины исходной полосы, так как он определяется и углом подъема спирали; спиральный шов придает трубе большую жесткость; спирально-сварные трубы имеют более точные размеры.

Специальные виды проката.

Периодический профиль – профиль, изменяющийся по определенному закону, повторяющемуся по длине. Периодические профили получают продольной, поперечной и винтовой прокаткой.

При продольной периодической прокатке получают профили с односторонним периодом, с двухсторонним совпадающим периодом, с несовпадающим верхним и нижним перио-

дом. Окончательную форму изделию придают за один проход. Длина периода профиля определяется длиной окружности вала. При каждом обороте валков из них должен выходить отрезок полосы с целым числом периодов, поэтому наибольшая длина периода не может быть больше длины окружности валков.

Поперечная прокатка периодических профилей характеризуется тем, что заготовка и готовый профиль представляют собой тела вращения. Прокатка осуществляется дисковыми или коническими валками, расположенными под углом 120° друг к другу. Валки могут быть установлены с некоторым перекосом. Способ заключается в том, что три приводных вала вращают заготовку, которая принудительно перемещается в осевом направлении со значительным натяжением. Гидравлическое устройство перемещает зажимной патрон вместе с металлом в направлении рабочего хода. Во время прокатки валки сближаются и разводятся на требуемый размер гидравлической следящей системой в соответствии с заданным профилем копировальной линейки или системой ЧПУ по заранее заданной программе. Переход от одного профиля к другому осуществляется без замены валков, только за счет смены копира или программы.

Поперечной прокаткой накатывают зубья шестерен между двумя вращающимися валками. Возможны два способа обработки зубьев: с осевой подачей обрабатываемой заготовки (прутковая прокатка) и прокатка с радиальной подачей валков (штучная прокатка). Прутковая прокатка шестерен (рис. 2.13) применяется для обработки прямозубых и косозубых шестерен с небольшими модулями (до 6 мм) и диаметром до 200 мм. Образование зубьев при прокатке осуществляется перемещением нагретой в кольцевом индукторе 2 заготовки 1 между двумя вращающимися зубчатыми валками 3, модуль которых равен модулю прокатываемой шестерни 4.

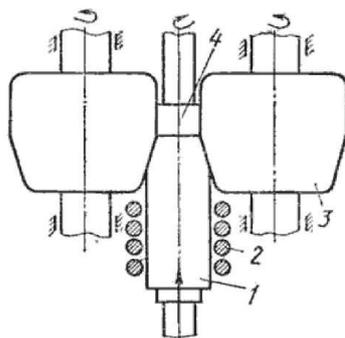


Рис 2.13. Схема прокатки шестерни с осевой подачей заготовки

В начале прокатки заготовка приводится во вращение дополнительным зубчатым колесом, находящимся в зацеплении с валками. После выхода из зацепления шестерня вращается валками.

Станы винтовой прокатки широко применяют для прокатки стальных шаров диаметром 25...125 мм. Схема прокатки представлена на рис. 2.14.

Валки 2 и 4 вращаются в одном направлении, в результате заготовка 1 получает вращательное движение. Для осевого перемещения оси валков располагают под углом к оси вращения. От вылета из валков заготовка предохраняется центрирующими упорами 3.

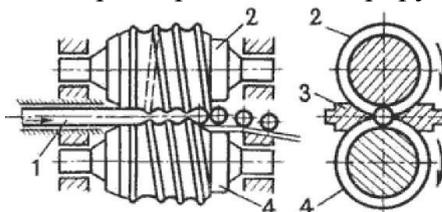


Рис. 2.14. Схема прокатки шаров

В валках нарезают винтовые калибры. По характеру деформации калибр разделяется на формующий участок, где осуществляется захват заготовки и ее постепенное обжатие в шар, и отделочный участок, где придаются точные размеры шару и происходит его отделение от

заготовки. Диаметр валков в 5...6 раз превышает диаметр прокатываемых шаров, и составляет 190...700 мм. Производительность стана определяется числом оборотов валков, так как за один оборот. Существуют станы для прокатки ребристых труб, для накатки резьб и т.д.

Прессование.

Прессование – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля. Это современный способ получения различных профильных заготовок: прутков диаметром 3...250 мм, труб диаметром 20...400 мм с толщиной стенки 1,5...15 мм, профилей сложного сечения сплошных и полых с площадью поперечного сечения до 500 см².

Впервые метод был научно обоснован академиком Курнаковым Н.С. в 1813 году и применялся главным образом для получения прутков и труб из оловянисто-свинцовых сплавов. В настоящее время в качестве исходной заготовки используют слитки или прокат из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных металлов и сплавов на их основе (медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, цирконий, уран, торий).

Технологический процесс прессования включает операции: подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля); нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины; укладка заготовки в контейнер; непосредственно процесс прессования; отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10000 т. Применяются два метода прессования: прямой и обратный (рис. 2.15)

При прямом прессовании движение пуансона пресса и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет 18...20 % от массы заготовки (в некоторых случаях – 30...40 %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая.

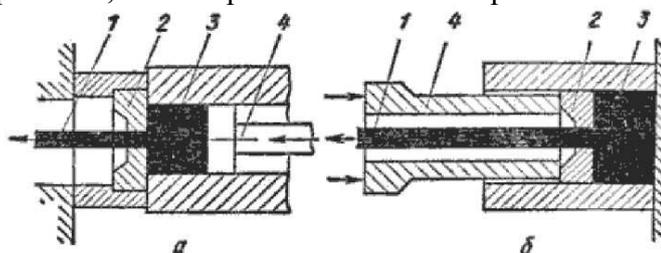


Рис. 2.15. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом
1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – пуансон

При обратном прессовании заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5...6 %. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема более сложная.

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из очага матрицы. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и имеет очень высокую пластичность.

К основным преимуществам процесса относятся: возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно; возможность получения практически любого профиля поперечного сечения; получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы; высокая производительность, до 2...3 м/мин.

Недостатки процесса: повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка; появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия; высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента; высокая энергоемкость.

Волочение.

Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Схема волочения представлена на рис. 2.16.

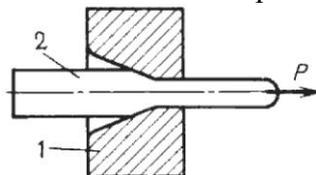


Рис. 2.16. Схема волочения

Волочением получают проволоку диаметром 0,002...4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в 1,5...2 раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный прут, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Волока работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из твердых сплавов. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза.

Волока закрепляется в обойме. Волоки имеют сложную конфигурацию, ее составными частями являются: заборная часть, включающая входной конус и смазочную часть; деформирующая часть с углом в вершине (6...18° – для прутков, 10...24° – для труб); цилиндрический калибрующий поясик длиной 0,4...1 мм; выходной конус.

Технологический процесс волочения включает операции: предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности; травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой, после удаления окалины на поверхность наносят подсмазочный слой путем омеднения, фосфотирования, известкования, к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается; волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий; отжиг для устранения наклепа: после 70...85 % обжата для стали и 99 % обжата для цветных металлов; отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.)

Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волочительных станках. В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может достигать до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/с.

Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации. Коэффициент вытяжки определяется отношением конечной и начальной длины или начальной и конечной площади поперечного сечения. Обычно за один проход коэффициент вытяжки не превышает 1,3, а степень деформации – 30 %. При необходимости получить большую величину деформации производят многократное волочение.

Ковка.

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением прессы. Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента. При свободной ковке течение металла ограничено частично, трением на контактной поверхности деформируемый металл – поверхность инструмента: бойков плоских или фигурных, подкладных штампов.

Ковкой получают разнообразные поковки массой до 300 т. Первичной заготовкой для поковок являются: слитки, для изготовления массивных крупногабаритных поковок; прокат сортовой горячекатаный простого профиля (круг, квадрат).

Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии. Холодной ковке поддаются драгоценные металлы – золото, серебро; а также медь. Технологический процесс холоднойковки состоит из двух чередующихся операций: деформации металла и рекристаллизационного отжига. В современных условиях холодная ковка встречается редко, в основном в ювелирном производстве.

Горячая ковка применяется для изготовления различных изделий, а также инструментов: чеканов, зубил, молотков и т.п. Материалом для горячейковки являются малоуглеродистые стали, углеродистые инструментальные и некоторые легированные стали. Каждая марка стали имеет определенный интервал температур начала и концаковки, зависящий от состава и структуры обрабатываемого металла. Температурные интервалы начала и концаковки для углеродистых сталей приведены в табл. 12.1.

Таблица 2.1 – Температурные интервалы начала и концаковки для углеродистых сталей

Марка стали	Температурыковки	
	начала	конца
Ст 1	1300	900
Ст 2	1250	850
Ст 3	1200	850
Сталь У7, У8, У9	1150	800
Сталь У10, У12, У13	1130	870

Различают ковку предварительную и окончательную. Предварительная (или черновая) ковка представляет собой кузнечную операцию обработки слитка для подготовки его к дальнейшей деформации прокаткой, прессованием и т.п. Окончательная (чистовая ковка) охватывает все методы кузнечной обработки, с помощью которых изделия придают окончательную форму.

Предварительные операцииковки.

Биллетирование – превращение слитка в болванку или заготовку: включает сбивку ребер и устранение конусности. Обжатие при билетировании составляет 5...20 %. Проковка слитка предназначена для обжатия металла в углах слитка с целью предварительного деформирования литой структуры – дендритов, которые имеют стыки в этих углах. Биллетирование способствует заварке воздушных пузырей и других подкорковых дефектов литой структуры, созданию пластичного поверхностного слоя металла, благоприятно влияющего на дальнейшую деформацию. После билетирования производят обрубку донной части слитка.

Рубка – применяется для отделения от основной заготовки негодных частей или для разделения заготовки на части. Рубка производится в холодном и горячем состоянии. В холодном состоянии рубят тонкие и узкие полосы и прутки сечением 15...20 мм. Более толстые заготовки нагревают. Рубка основана на действии деформирующей силы на малую площадь соприкосновения инструмента с заготовкой, а реакция этой силы со стороны нижней части распределена по большой поверхности заготовки, и пластической деформации здесь не возникает.

В зависимости от габаритов и формы заготовок используют способы рубки: с одной стороны – для тонких заготовок; с двух сторон, сначала осуществляется предварительная надрубка заготовки на $0,5...0,75$ высоты, после кантовки на 180° проводится окончательная рубка; с трех сторон – для круглых и крупных заготовок, осуществляются две надрубки на глубину $0,4$ диаметра заготовки с кантовкой на 120° , после второй кантовки на 120° проводят окончательную рубку; с четырех сторон – для крупных заготовок, после надрубки с четырех сторон в центре остается перемычка прямоугольного сечения, по месту которой производят разделение заготовки на части.

Основные операцииковки.

Осадка – операция обработки давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок (рис. 2.17). Осадку применяют для получения формы поковки, с целью уменьшения глубины прошивки, для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали (при изготовлении шестерней обеспечивается повышенная прочность зубьев в результате радиального расположения волокон), как контрольную операцию (из-за значительной деформации по периметру на боковой поверхности вскрываются дефекты).

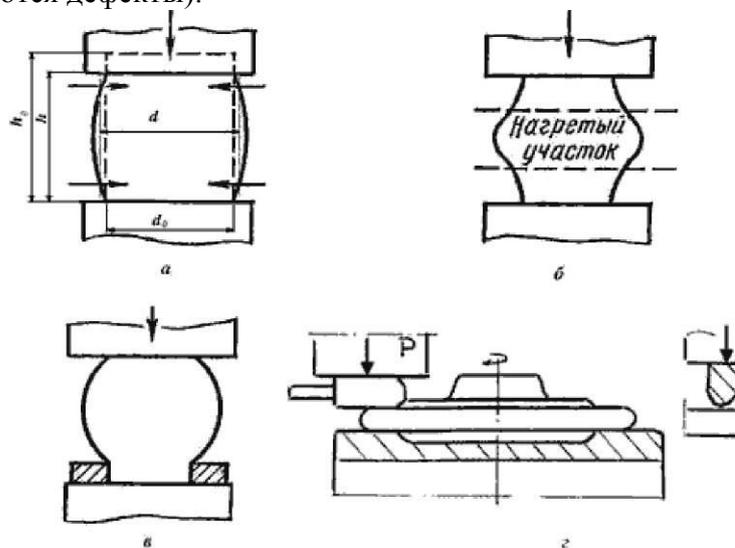


Рис. 2.17. Схемы осадки и ее разновидностей

При выполнении осадки требуется, чтобы инструмент перекрывал заготовку. Вследствие трения боковая поверхность осаживаемой заготовки приобретает бочкообразную форму, это характеризует неравномерность деформации. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям.

Осадке подвергают заготовки, для которых высота не превышает $2,5...3$ диаметра. В противном случае возможен или продольный изгиб заготовки, или образование седлообразности. Разновидностями осадки являются высадка и осадка разгонкой торца.

Высадка – кузнечная операция, заключающаяся в деформировании части заготовки (концевой части или середины). Для проведения операции используют местный нагрев, например, в середине заготовки (рис. 2.17 б), или ограничивают деформацию на части заготовки кольцевым инструментом (рис. 2.17 в).

Осадка разгонкой торца позволяет уменьшить высоту и увеличить площадь ранее осаживаемой заготовки (рис. 2.17 г). Локализация деформации позволяет уменьшить усилие осадки.

Протяжка (вытяжка) – кузнечная операция, в результате которой происходит увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Протяжка не только изменяет форму заготовок, но и улучшает качество металла. Операция заключается в нанесении последовательных ударов и перемещении заготовки, при этом между бойками во время удара находится только часть заготовки. После каждого обжатия заготовка продвига-

ется на величину, меньшую, чем длина бойка. Протягивать можно плоскими и вырезными бойками. Протяжка на плоских бойках может выполняться двумя способами.

Первый способ. Протяжка выполняется по всей длине слитка или заготовки вначале с одной стороны, а после кантовки на 90° – с другой стороны и т.д. Большие по длине поковки могут изгибаться в бойках концами вниз. Чтобы исправить изгиб, поковки кантуют сначала на 180° , а потом на 90° .

Второй способ. Поочередная протяжка на плоских бойках (по винтовой линии) – после каждого обжата следует кантовка на 90° в одну и ту же сторону, после каждых четырех обжатий следует подача. Способ более трудоемкий, применяется при ковке твердых инструментальных сталей.

При протяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть (особенно при проковке круглого сечения) значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин.

Протяжка в вырезных бойках или в комбинации плоских бойков с вырезными используется при ковке легированных сталей с пониженной пластичностью. Благодаря боковому давлению, создаваемому жесткими стенками инструмента повышаются сжимающие напряжения, увеличивается пластичность металла. Получают поковки более точные по форме и размерам. Возрастает скорость протяжки.

При протяжке с круга на круг в вырезных бойках, силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности возникновения осевых трещин.

Разновидностями протяжки являются разгонка, протяжка с оправкой, раскатка на оправке.

Разгонка (расплющивание) – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины. Операция выполняется за счет перемещения инструмента в направлении, перпендикулярном оси заготовки.

Протяжка на оправке – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки и уменьшения наружного диаметра. Протяжку выполняют в вырезных бойках (или нижнем вырезном и верхнем плоском) на слегка конической оправке. Протягивают в одном направлении – к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки. Оправку предварительно нагревают до температуры $160\dots 200^\circ\text{C}$.

Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. Заготовка опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку, устанавливаемую концами на подставках, и деформируется между оправкой и узким длинным бойком. После каждого обжата заготовку поворачивают относительно оправки.

Протяжку с оправкой и раскатку на оправке часто применяют совместно. Вначале раскаткой уничтожают бочкообразность предварительно осаженной и прошитой заготовки и доводят ее внутренний диаметр до требуемых размеров. Затем протяжкой с оправкой уменьшают толщину стенок и увеличивают до заданных размеров длину заготовки.

Прошивка – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла (рис. 2.18).

Инструментом для прошивки служат прошивки сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра ($400\dots 900$ мм). При сквозной прошивке сравнительно тонких поволоков применяют подкладные кольца (рис. 2.18 б). Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца (рис. 2.18 а). Диаметр прошивки выбирают не более половины наружного диаметра заготовки, при большем диаметре прошивки заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается отходом (выдрой).

Гибка – операция придания заготовке или ее части изогнутой формы по заданному контуру (рис. 2.18 в). Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в месте изгиба (утяжка). Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры.

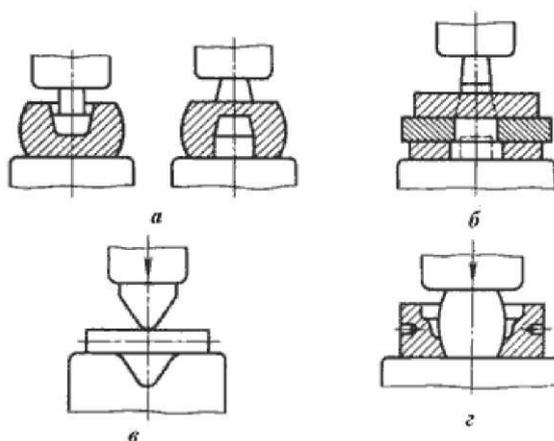


Рис. 2.18. Схемы прошивки (а, б), гибки (в), штамповки в подкладных штампах (г)

При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Для избежания этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления. Радиус в месте изгиба не должен быть меньше полутора толщин заготовки. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны.

Скручивание – операция, заключающаяся в повороте одной части поковки вокруг общей оси по отношению к другой ее части под определенным углом. Различают два случая: поворот на угол до 180° – для пространственной ориентации отдельных частей; многократное скручивание на 360° – для придания витого характера (используется как элемент украшения композиций решеток, перил, лестниц и т.д.). К скручиванию относится и свивание нескольких тонких прутков (проволок) в шнуры.

При изготовлении небольшой партии поковок с относительно сложной конфигурацией применяют штамповку в подкладных штампах (рис.2.18 г). Подкладной штамп может состоять из одной или двух частей, в которых имеется полость с конфигурацией поковки или ее отдельных участков.

Технологический процессковки включает операции: резку исходной заготовки в требуемый размер, нагрев материала до требуемой температуры, формообразующую операцию, очистку заготовок от окалины, контроль поковки. Точность и производительность резки определяется способом резки. На практике обычно применяют нагрев в пламенной печи, как способ, не требующий дополнительных затрат. Основная операция включает переходы: установку – снятие заготовки, формоизменяющую операцию (осадку, вытяжку, прошивку и т.д.).

Очистку поковок от окалины осуществляют в галтовочных барабанах, обдувкой стальной дробью, травлением в водных растворах серной или соляной кислоты. При контроле поковок выявляют внешние и внутренние дефекты, проверяют соответствие геометрическим и функциональным техническим условиям.

Оборудование дляковки.

В качестве оборудования применяются ковочные молоты и ковочные прессы. Оборудование выбирают в зависимости от режимаковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования определяют по приближенным формулам или справочным таблицам.

Молоты – машины динамического ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной падающими частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Часть энергии теряется на упругие деформации инструмента и колебания шабота – детали, на которую устанавливают нижний боек. Чем больше масса шабота, тем выше КПД. Обычно масса шабота в 15 раз превышает массу падающих частей, что обеспечивает КПД на уровне 0,8...0,9.

Для получения поковок массой до 20 кг применяют ковочные пневматические молоты, работающие на сжатом воздухе. Сила удара определяется силой давления сжатого воздуха, и

может регулироваться в широких пределах. Масса падающих частей составляет 50...1000 кг. Основные параметры молотов регламентируются ГОСТами.

Для получения поковок массой до 350 кг применяют ковочные паровоздушные молоты. Они приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7...0,9 МПа. Масса падающих частей составляет 1000...8000 кг. Различают молоты простого действия, когда пар или воздух только поднимают поршень, и двойного действия, когда энергоноситель создает дополнительное деформирующее усилие.

Прессы ковочные гидравлические – машины статического действия. Продолжительность деформации составляет до десятков секунд. Металл деформируется приложением силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Выбираются прессы по номинальному усилию, которое составляет 5...100 МН. Применяют в основном для получения крупных заготовок из слитков.

Конструирование кованных заготовок.

Чертеж поковки составляют по рабочему чертежу детали установлением припусков на механическую обработку, допусков на ковку и напусков на поковку. Значения этих величин устанавливаются ГОСТами: на поковки, получаемые на молотах – ГОСТ 7829; на поковки, получаемые на прессах – ГОСТ 7869.

При разработке чертежа поковки следует учитывать специфику техники ковки и избегать нехарактерных для нее форм и конфигураций. Поковки должны быть простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис. 2.19).

В поковках следует избегать конических (рис. 2.19,5) и клиновых (рис. 2.19,6) поверхностей, взаимных пересечений цилиндрических поверхностей (рис. 2.19,7), а также пересечений цилиндрических поверхностей с призматическими участками деталей (рис. 2.19,8). Предпочтительнее назначать односторонние выступы, взамен двухсторонних, особенно для мелких деталей. Следует избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т.п., так как эти элементы в большинстве случаев получить ковкой невозможно. Ребра жесткости в поковках недопустимы. Детали с резкой разницей размеров поперечных сечений или сложной формы следует заменять сочетанием более простых кованных деталей. Детали сложной формы целесообразно выполнять сварными из нескольких поковок или из кованных и литых элементов.

Горячая объемная штамповка.

Объемной штамповкой называют процесс получения поковок, при котором формообразующую полость штампа, называемую ручьем, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией.

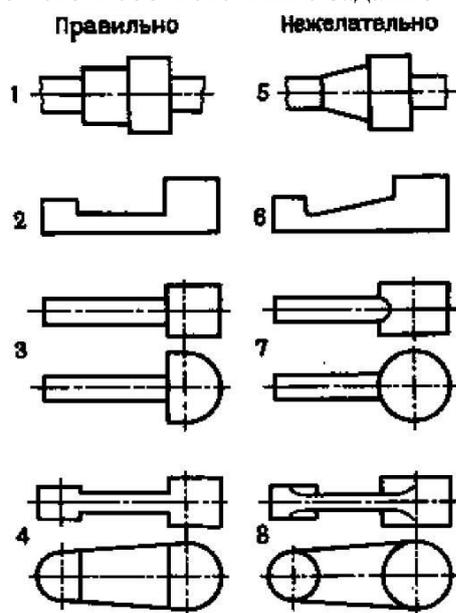


Рис. 2.19. Правильные и нежелательные формы поковок

Применение объемной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа значительно повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокая точность формы изделия и качество поверхности. Штамповкой можно получать очень сложные по форме изделия, которые невозможно получить приемами свободной ковки.

Объемную штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила горячая объемная штамповка (ГОШ), которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, пресованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

Формообразование при горячей объемной штамповке.

Основная операция горячей объемной штамповки может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – ручьем (гравюрой). Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные.

Заготовительные ручки предназначены для фасонирования в штампах. Фасонирование – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла. К заготовительным ручьям относятся протяжной, подкатной, гибочный и пережимной, а также площадка для осадки.

Протяжной ручей предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения, выполняемого воздействием частых слабых ударов с кантованием заготовки.

Подкатной ручей служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, то есть для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. Переход осуществляется за несколько ударов с кантованием.

Пережимной ручей предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения. Выполняется за 1...3 удара.

Гибочный ручей применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось. Служит для придания заготовке формы поковки в плоскости разъема. Из гибочного ручья в следующий заготовку передают с поворотом на 90°.

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этого на плоскости штампа предусматривают площадку для осадки.

Штамповочные ручки предназначены для получения готовой поковки. К штамповочным ручьям относятся черновой (предварительный) и чистовой (окончательный).

Черновой ручей предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

Чистовой ручей служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», то есть больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

Технологический процесс горячей объемной штамповки отличается значительным разнообразием и определяется выбором самого изделия и применяемым оборудованием. Технологический процесс зависит от формы поковки. По форме в плане поковки делятся на две группы: диски и поковки удлиненной формы.

К первой группе относятся круглые или квадратные поковки, имеющие сравнительно небольшую длину: шестерни, диски, фланцы, ступицы, крышки и др. Штамповка таких поковок производится осадкой в торец исходной заготовки с применением только штамповочных переходов.

Ко второй группе относятся поковки удлиненной формы: валы, рычаги, шатуны и др. Штамповка таких поковок производится протяжкой исходной заготовки (плашмя). Перед окончательной штамповкой таких поковок в штамповочных ручьях требуется фасонирование исходной заготовки в заготовительных ручьях штампа, свободной ковкой или на ковочных вальцах. Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 2.20).

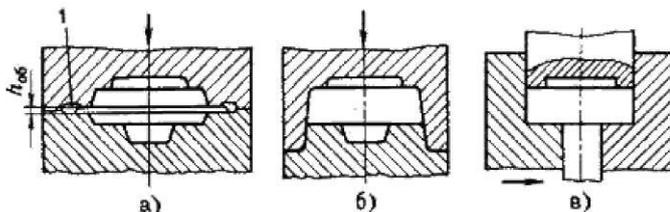


Рис. 2.20. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах: 1 – облойная канавка

Штамповка в открытых штампах (рис. 2.20 а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Штамповкой в открытых штампах можно получить поковки всех типов.

Штамповка в закрытых штампах (рис. 2.20 б) характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя – выступ (на прессах), или верхняя – полость, а нижняя – выступ (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно перпендикулярные плоскости разреза (рис. 2.20 в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

Чертеж поковки.

Чертеж поковки является основным документом при разработке технологического процесса и проектировании штампа. Его выполняют на основе чертежа детали по ГОСТ 7505 – Поковки стальные штампованные.

Сначала необходимо выбрать поверхность разреза, т.е. поверхность, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Обычно эта поверхность является плоскостью или сочетанием плоскостей. Она необходима для установки исходной заготовки и удаления из штампа готовой поковки. Поверхность разреза устанавливают в плоскости двух наибольших габаритных размеров, при этом полости штампа имеют наименьшую глубину.

При штамповке в открытых штампах плоскость разъема должна обеспечивать контроль сдвига верхней и нижней частей штампа после обрезки обля. Для этого она должна пересекать вертикальную поверхность поковки (рис. 2.21 а). Желательно плоскость разъема располагать так, чтобы естественные уклоны облегчали удаление поковки из штампа (рис. 2.21 б) даже без выталкивателей и без существенного упрощения формы детали.

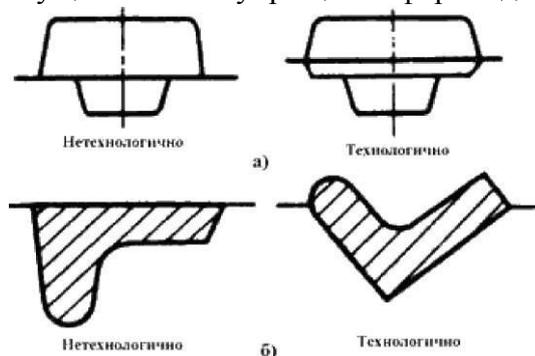


Рис. 2.21. Выбор плоскости разъема штампа

В некоторых случаях положение плоскости разъема определяется макроструктурой металла. Например, при штамповке шестерен плоскость разъема должна быть перпендикулярна к оси детали. В этом случае макроструктура получается одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечивает их высокую прочность. На рис. 2.22 показан выбор положения разъема штампа по условиям работы детали. Если деталь работает на срез по линии а – а, то волокна металла должны располагаться перпендикулярно к линии среза (положение II – II). Положение плоскости разъема I – I в данном случае нежелательно.

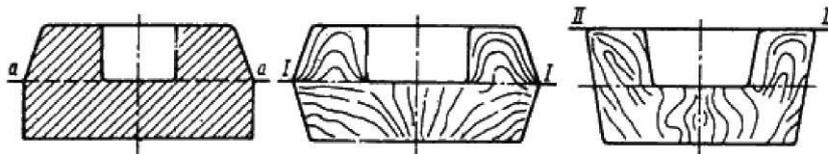


Рис. 2.22. Схема к выбору плоскости разъема с учетом условий работы детали

При выборе плоскости разъема необходимо учитывать использование поверхностей поковки в качестве баз при механической обработке. Базы должны быть цилиндрическими, без штамповочных уклонов. При этом припуск на механическую обработку должен быть одинаков в направлении обработки. При штамповке в закрытых штампах плоскость разъема выбирают по торцевой наибольшей поверхности детали.

Припуски на механическую обработку регламентируются ГОСТ 7505 с учетом точности поковки, которая определяется видом оборудования и технологией ГОШ (открытая или закрытая) и назначаются в основном на сопрягаемые поверхности. Допуски учитывают возможные отклонения от номинальных размеров вследствие недоштамповки по высоте, сдвига частей штампов, их износа и т.п. К кузнечным напускам относятся штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений, перемычки отверстий.

Штамповочные уклоны назначаются сверх припуска, они повышают отход металла при механической обработке и утяжеляют поковку. Для наружных поверхностей, вследствие температурной усадки, уклоны меньше, чем для внутренних поверхностей.

Все пересекающиеся поверхности сопрягаются по радиусам. Это необходимо для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременного износа и поломок. Радиусы скругления зависят от глубины полости штампа. Внутренние радиусы скругления в 3...4 раза больше, чем наружные. Наружные радиусы обычно составляют 1...6°.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому наносят только наметку отверстия с перемычкой-пленкой, удаляемой впоследствии в специальных штампах. Толщина перемычки устанавливается в зависимости от диаметра отверстия, но не должна быть менее 4 мм. Отверстия диаметром менее 30 мм не штампуются

Технологический процесс горячей объемной штамповки.

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок.

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окисление (окалина) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки, в том числе из малопластичных материалов. Поковки простой формы штампуют в штампах с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т.п. штампуют в многоручьевых штампах. После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя и пробивку пленок в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис. 2.23).

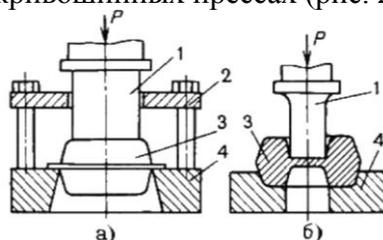


Рис. 2.23. Схемы обрезания облоя (а) и пробивки пленок (б)

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимают в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4%.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1...2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

Оборудование для горячей объемной штамповки.

Оборудование для горячей объемной штамповки молоты штамповочные, горячештамповочные кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины. Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Горячая объемная штамповка на молотах.

Основным типом молотов являются паровоздушные штамповочные молоты. Их конструкция несколько отличается от ковочных молотов. Стойка станины устанавливается непосредственно на шаботе. Молоты имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Масса шабота превышает массу падающих частей в 30...30 раз. Все это обеспечивает необходимую точность соударения штампов. Масса падающих частей составляет 630...25000 кг.

Используются молоты бесшаботной конструкции. Шабот заменен подвижной нижней бабой, связанной с верхней бабой механической или гидравлической связью. Энергия удара поглощается механизмами молота. При соударении верхней и нижней баб развивается значительная энергия, что позволяет штамповать поковки в одноручьевых штампах.

Особенностями ГОШ на молотах являются ударный характер деформирующего воздействия и возможность регулирования хода подвижных частей и величины удара при одновременном кантовании заготовки, что позволяет более эффективно производить перераспределение металла. На молотах возможно выполнение всех заготовительных переходов, в том числе протяжки и подката. Верхняя часть штампа заполняется лучше. Части штампа при штамповке на молоте должны смыкаться. При штамповке в открытых штампах облойная канавка имеет вид, представленный на рис. 2.24.

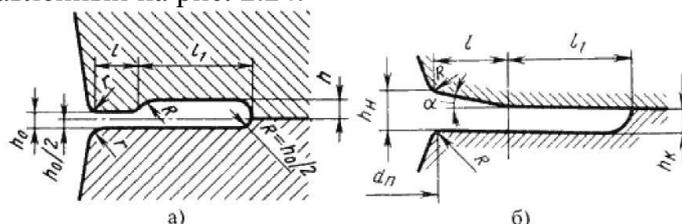


Рис. 2.24. Виды облойной канавки при штамповке на молотах

Размеры облойной канавки (рис. 2.24 а) назначаются в зависимости от сложности поковки и ее размеров в плане. Клиновидная облойная канавка (рис. 2.24 б) позволяет снизить потери на облой в результате повышения сопротивления течению металла.

При закрытой штамповке на молотах применяются штампы с одним и двумя замками. Конструкции штампов представлены на рис. 2.25.

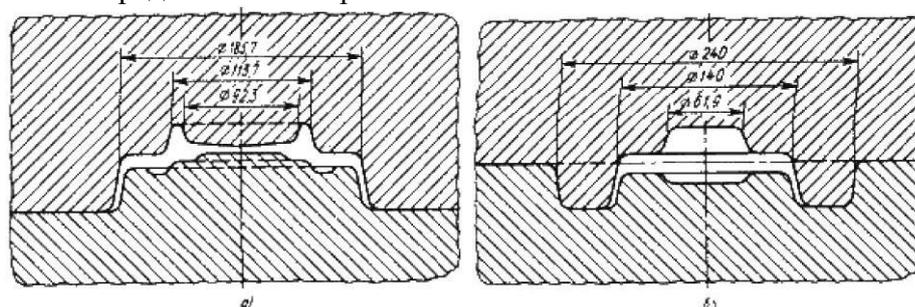


Рис. 2.25. Конструкции закрытых молотовых штампов: а – с одним замком; б – с двумя замками

Штампы с одним замком используются чаще, так как они проще в изготовлении. Но они требуют точной наладки и хорошего состояния оборудования. Второй замок (большой конус) предохраняет первый замок и упрощает наладку штампа, но при этом увеличиваются его размеры и масса.

Геометрическая точность поковок, полученных на молотах.

На молотах поковки изготавливаются с самыми низкими классами точности: Т4, Т5. Это обусловлено возможностью смещения частей штампа, отсутствием направляющих в конструкции штампа, ударным характером деформирования. Допускаемые отклонения от

номинальных размеров поковки соответствуют припускам, поэтому также являются увеличенными.

Кузнечные напуски имеют максимальные значения. Ввиду ударного характера работы молота в конструкции штампа нельзя использовать выталкиватели, поэтому для извлечения поковки из ручья штампа на вертикальных поверхностях поковок оформляются значительные штамповочные уклоны: наружные – до 7° , внутренние – до 10° . Радиусы закругления назначаются для облегчения течения металла, повышения стойкости штампа, обеспечения расположения волокон.

Горячая объемная штамповка на прессах.

Наиболее часто используются кривошипные горячештамповочные прессы. Выбор прессы осуществляется по номинальному усилию, которое составляет $6,7 \dots 100$ МН. К особенностям конструкции прессы следует отнести жесткий привод, не позволяющий изменять ход ползуна, отсутствие ударных нагрузок.

Жесткий привод не позволяет производить переходы, требующие постепенно возрастающего обжатия с кантованием, (протяжка, подкат). Для фасонирования заготовки могут быть использованы заготовительные ручьи: пережимной, гибочный. Поэтому при штамповке на прессах сложных заготовок, имеющих удлиненную форму в плане (шатуны, турбинные лопатки), фасонирование осуществляется ковочными вальцами, свободной ковкой, высадкой на горизонтально-ковочных машинах.

Отсутствие ударных нагрузок позволяет не применять массивные шаботы, использовать сборную конструкцию штампов (блок-штампы). При открытой штамповке на прессах части штампа не должны смыкаться на величину, равную толщине облоя. Полость штампа выполняется открытой и облойная канавка имеет вид, показанный на рис. 2.26.

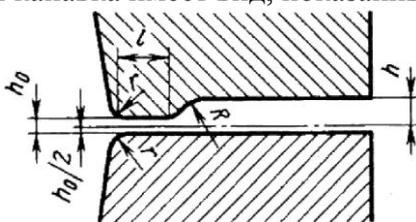


Рис. 2.26. Вид облойной канавки при штамповке на прессах

Для закрытой штамповки используются штампы двух видов: с цельной матрицей, для изготовления поковок типа тел вращения, усилие распора в них воспринимается матрицей и не передается ползуну прессы; с разъемной матрицей, для легкого извлечения из полости штампа поковок, что позволяет значительно уменьшить штамповочные уклоны.

Поковки, полученные на прессах, характеризуются высокой точностью, которая достигается за счет снижения припусков на механическую обработку (в среднем на $20 \dots 30$ % по сравнению с поковками, полученными на молотах) и допускаемых отклонений на номинальные размеры, снижения штамповочных уклонов в два – три раза.

Наличие постоянного хода приводит к большей точности поковок по высоте, а жесткость конструкции прессы делает возможным применение направляющих колонок в штампах, что исключает сдвиг.

Производительность труда повышается в среднем в 1,4 раза за счет однократности и повышения мощности деформирующих воздействий. В результате себестоимость поковок снижается на $10 \dots 30$ %. Как показывают исследования, штамповка на прессах может быть экономически выгодной даже при загрузке оборудования на $35 \dots 45$ %.

При штамповке на прессах деформация глубже проникает в заготовку, что позволяет штамповать малопластичные материалы, применять штампы с разъемной матрицей с боковым течением металла.

Процессу штамповки на прессах присущи недостатки: окалина вдавливаясь в тело поковки, для предотвращения этого необходимо проводить малоокислительный или безокислительный нагрев или полную очистку заготовки от окалины; из-за невысокой скорости деформирования время контакта металла с инструментом больше, чем на молотах, поэтому

имеет место переохлаждение поверхности заготовки, что приводит к худшему заполнению полости штампа.

Штамповка на горизонтально-ковочных машинах.

Горизонтально-ковочная машина представляет собой механический кривошипный штамповочный пресс, имеющий разъемную матрицу, одна часть которой является подвижной – зажимной. Кроме главного деформирующего ползуна, имеется ползун, движение которого перпендикулярно движению главного. Горизонтально-ковочные машины выбираются по номинальному усилию, которое составляет 1...31,5 МН. Схема горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине показана на рис. 2.27.

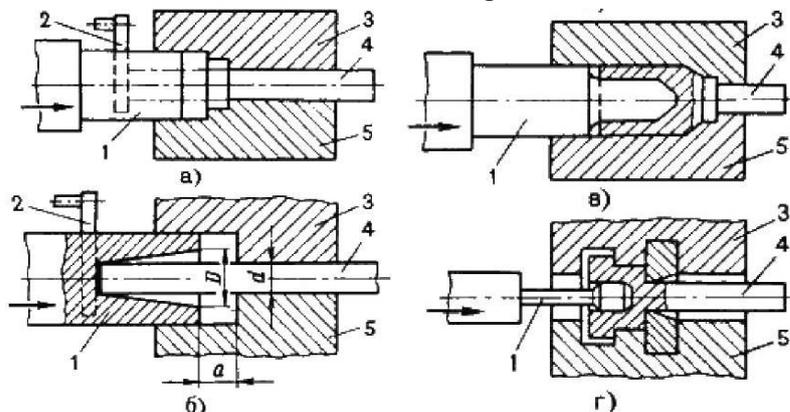


Рис. 2.27. Схема горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине

Штамп состоит из трех частей: неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком на его конце закладывают в неподвижную матрицу. Положение конца прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор автоматически отходит в сторону, и только после этого пуансон 1 соприкасается с выступающей частью прутка и деформирует ее. Металл при этом заполняет формирующую полость, расположенную впереди зажимной части.

Формующая полость может находиться только в матрице, только в пуансоне, а также в матрице и пуансоне. После окончания деформирования пуансон движется в обратном направлении, выходя из полости матрицы. Матрицы разжимаются, деформированную заготовку вынимают или она выпадает из них.

Штамповка выполняется за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход ползуна. Осуществляются операции: высадка, прошивка, пробивка. За один переход можно высадить выступающий из зажимной части матрицы конец прутка только в том случае, если его длина не превышает трех диаметров. При большей длине возможен изгиб заготовки, поэтому предварительно необходимо произвести набор металла. Набор металла осуществляется в полости пуансона, которой придают коническую форму.

В качестве исходной заготовки используют прутки круглого или квадратного сечения, трубный прокат. Штампуют поковки: стержни с утолщениями и глухими отверстиями, кольца, трубчатые детали со сквозными и глухими отверстиями.

Так как штамп состоит из трех частей, то напуски на поковки и штамповочные уклоны малы или отсутствуют. К недостаткам горизонтально-ковочных машин следует отнести их малую универсальность и высокую стоимость.

Ротационные способы изготовления поковок.

В основе этих способов лежит процесс ротационного обжатия при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании инструментом заготовки очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего усилие, действующее на инструмент, меньше чем при штамповке. Это позволяет изготавливать поковки большой массы (заготовка вагонных осей) с большой точностью, так как упругие деформации при меньших усилиях меньше. Штамповка на ковочных вальцах напоминает продольную

прокатку, на двух валках закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. 2.28 а). Нагретую заготовку 1 подают до упора 2, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

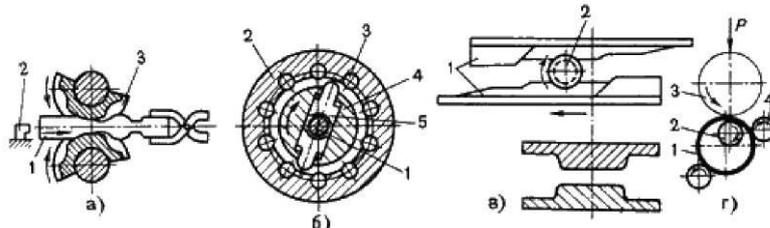


Рис. 2.28. Схемы действия ковочных вальцов (а), ротационно-ковочной машины (б), станков поперечно-клиновой прокатки (в); раскатки (г)

На вальцах изготавливают поковки типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п., а также осуществляют фасонирование заготовок. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах подобна операции протяжки и заключается в местном обжатии заготовки по периметру (рис. 2.28 б). Заготовку 1 в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 5 машины, находящимися в шпинделе 4. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 3, помещенные в обойме 2, толкают бойки 5, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. В машинах этого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины. В таких машинах получают поковки квадратного, прямоугольного и других сечений.

Поперечно-клиновой прокаткой (рис. 2.28 в) получают заготовки валов и осей с резкими ступенчатыми переходами диаметром от 12 до 120 мм. Деформирование может осуществляться инструментом в виде двух валков, валка и сегмента или двух плоских плит. Плоско-клиновой инструмент наиболее прост и обеспечивает получение валов сложной конфигурации с высокой точностью. Заготовка 2 из круглого прокатанного прутка после нагрева автоматически перемещается в рабочую зону клиньев 1 в их исходном положении. Клиновой инструмент, закрепленный в подвижной салазке станка, совершает прямолинейное движение. Заготовка прокатывается между двумя клиновыми плитами.

Раскатка кольцевых заготовок на раскатных станах получила особенно большое распространение при производстве колец подшипников (рис. 2.28 г). Заготовка 1 представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. Заготовки получают штамповкой на молотах или горизонтально-ковочных машинах. При подведении к заготовке 1, надетой на валок 2, быстро вращающегося валка 3 заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счет уменьшения толщины и происходит ее контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение правильной кольцевой формы поковки. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается. Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы наружным диаметром 70...700 мм и шириной 20...180 мм.

Штамповка жидкого металла.

Штамповка жидкого металла является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Технологический процесс штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и горячей объемной штамповки.

Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания.

Сопряжение пуансона и матрицы образует закрытую фасонную полость. Наружные контуры заготовки получают разъемной формой, если деталь имеет наружные выступы, или неразъемной формой – при отсутствии выступов. Внутренние полости образуются внедрением пуансона в жидкий металл. После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

Под действием высокого давления и быстрого охлаждения газы, растворенные в расплаве, остаются в твердом растворе. Все усадочные пустоты заполняются незатвердевшим расплавом, в результате чего заготовки получаются плотными, с мелкокристаллическим строением, что позволяет изготавливать детали, работающие под гидравлическим давлением.

Этим способом можно получить сложные заготовки с различными фасонными приливами на наружной поверхности, значительно выходящими за пределы основных габаритных размеров детали. В заготовках могут быть получены отверстия, расположенные не только вдоль движения пуансона, но и в перпендикулярном направлении. Возможно запрессовывать в заготовки металлическую и неметаллическую арматуру. Процесс используется для получения фасонных заготовок из чистых металлов и сплавов на основе магния, алюминия, меди, цинка, а также из черных металлов.

Холодная штамповка.

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла. Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий.

Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов. Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую.

Объемная холодная штамповка.

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 2.29).

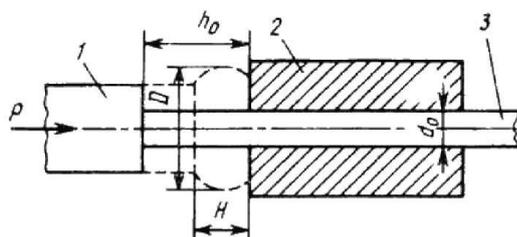


Рис. 2.29. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холодноотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д. Длина высаживаемой части h_0 рассчитывается с учетом объема требуемого утолщения V по формуле:

$$h_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d_0^2}.$$

Расчет числа переходов производится в основном по соотношению длины высаживаемой части h_0 и диаметра заготовки d_0 , которое характеризует устойчивость к продольному изгибу. При $h_0 / d_0 < 2,3$ используют один переход, при $h_0 / d_0 < 5$ – два перехода, при $h_0 / d_0 < 8$ – три перехода. При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг. Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 2.30: за три перехода (рис. 2.30 а); за пять переходов (рис. 2.30 б). Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

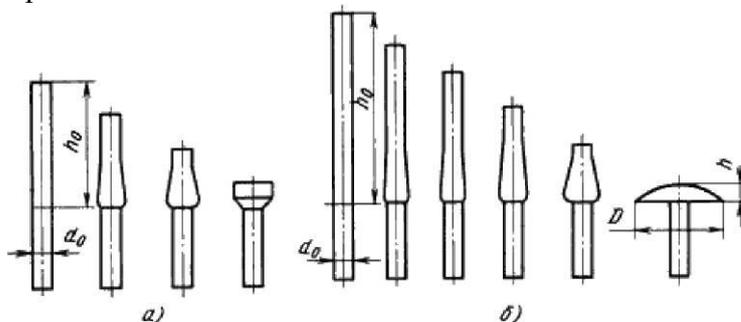


Рис. 2.30. Последовательность переходов изготовления детали

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы. Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании металл течет из матрицы в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона. Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При обратном выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем.

При боковом выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона. Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отрезка.

При комбинированном выдавливании металл течет по нескольким направлениям. Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубают из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки. Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

Объемная формовка – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа. Схемы объемной формовки представлены на рис. 2.31.

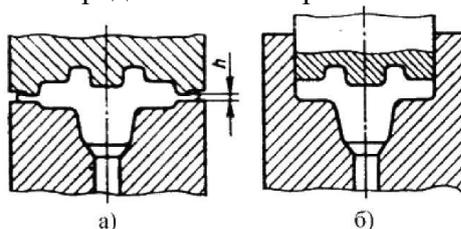


Рис. 2.31. Схемы объемной формовки: а – в открытых штампах; б – в закрытых штампах

Она производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис. 2.31 а), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис. 2.31 б). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или прутки, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок. В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и многопозиционные автоматы.

Чеканка – образование рельефных изображений на деформируемом материале. Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах. При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95 %. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

Листовая штамповка.

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовая материал деформируется в холодном или подогретом состоянии. Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур. При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки: возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно; высокая точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку; сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30000...40000 деталей в смену с одной машины); хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным

заготовкам придают форму и размеры детали. Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают разделительные операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и формообразующие операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Операции листовой штамповки.

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру. Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах. Обычно ее применяют как заготовительную операции для разделения листов на полосы и заготовки нужных размеров. Основные типы ножниц представлены на рис. 2.32.

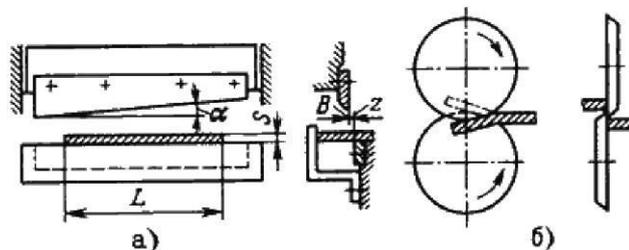


Рис. 2.32. Схемы действия ножниц: а – гильотинных; б – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис. 2.32 а). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом $1 \dots 50$ для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы B . Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей. Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис. 2.32 б).

Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в $30 \dots 70$ раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и пробивка – отделение металла по замкнутому контуру в штампе. При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий). Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов вырубке и пробивке представлена на рис. 2.33.

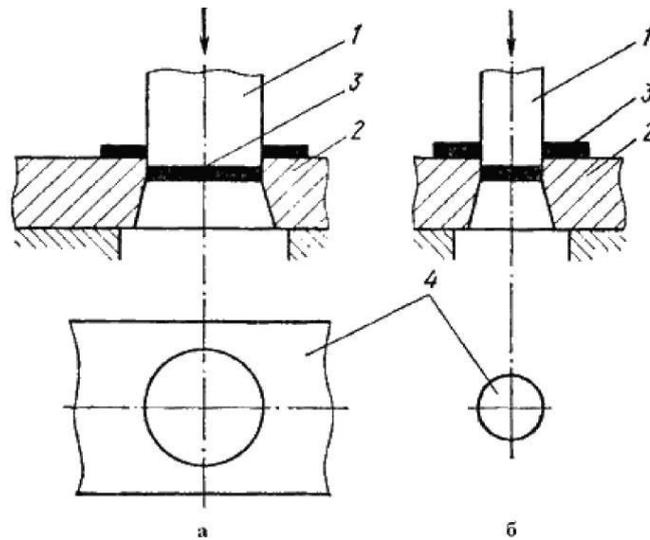


Рис. 2.33. Схема процессов вырубki (а) и пробивки (б)
1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – изделие, 4 – отход

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей z . Зазор z назначают в зависимости от толщины S и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет $z = 0,05 \dots 0,1S$. При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их. Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента). Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскроем. Часть заготовки, оставшаяся после вырубki – высечкой. Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскроя следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 2.34).

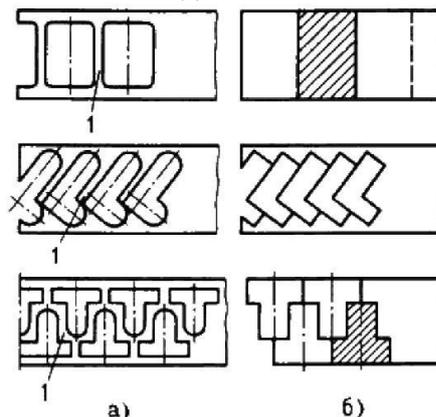


Рис. 2.34. Примеры раскроя материала с перемычками (а) и без перемычек (б)

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскроя, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

Листовая штамповка. Формообразующие операции листовой штамповки.

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму. Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка. Схемы формообразующих операций представлены на рис. 2.35.

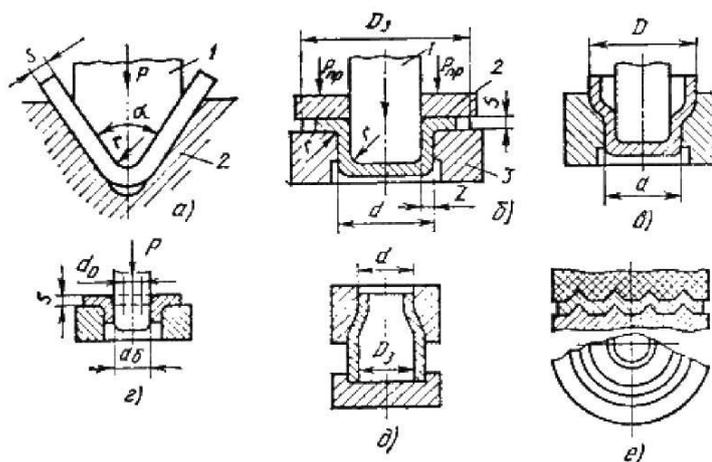


Рис. 2.35. Формообразующие операции листовой штамповки

Гибка – образование угла между частями заготовки или придание заготовке криволинейной формы. При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис. 2.35 а): наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние – сжимаются. Деформация растяжения наружных слоев и сжатия внутренних увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона, при этом возрастает вероятность образования трещин. Поэтому минимальный радиус пуансона ограничивается величиной в пределах $0,1 \dots 2,0$ от толщины заготовки, в зависимости от механических свойств материала. При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые – растягиваются, что приводит к изменению угла гибки α , т.е. к пружинению детали. Это следует учитывать или уменьшением угла инструмента на величину пружинения, или применением в конце рабочего хода дополнительного усилия. Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах.

Вытяжка – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рис. 2.35 б). Вырубленную заготовку диаметром D_3 и толщиной S укладывают на плоскость матрицы 3. Пуансон 1 надавливает на заготовку и она, смещаясь в отверстие матрицы, образует стенки вытянутой детали диаметром d . Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $K_b = D_3 / d$, который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 2,1.

При $D_3 - d > 18 \dots 20S$, возможны потеря устойчивости фланца и образование складок при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице с определенным усилием. Высокие детали малого диаметра получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра D полуфабриката и увеличением его высоты (рис. 16.1.в). При последующих переходах для предотвращения разрушения металла принимают $K_b = 1,2 \dots 1,4$. Промежуточный отжиг для устранения наклепа позволяет увеличить K_b до $1,4 \dots 1,6$. Опасность разрушения заготовок устраняют применением смазочных материалов для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента. При вытяжке зазор между матрицей и пуансоном составляет $1 \dots 1,3S$.

Отбортовка – получение борта диаметром d_6 путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием d_0 в матрицу (рис. 2.35 г). Формоизменение оценивают коэффициентом отбортовки $K_n = d_6 / d_0 < 1,8$, который зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины S / d_0 . Больше увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие резанием, создающим меньшее упрочнение у края отверстия. Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой массе. Выделяется отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовки.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки. Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 2.35 д). За один переход можно получить $d = 0,7...0,8D_3$. Для большего формоизменения выполняют несколько последовательных операций обжима.

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки коническим пуансоном; это операция противоположная обжиму.

Рельефная формовка – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис. 2.35 е). Формовкой получают конструкционные выступы и впадины, ребра жесткости, лабиринтные уплотнения.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа, и совмещенного действия, в которых операции выполняются на одной позиции, например, одновременно вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.д.

В настоящее время применяют специальные конструкции штампов, в которых металлические пуансоны или матрицы отсутствуют, и давление на материал осуществляется при помощи резины, жидкости или сжатого воздуха. При этом резина или жидкость легко удаляются из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной. При изготовлении небольших по глубине изделий пуансон заменяет резиновая подушка. С помощью резины можно осуществлять все операции: вырубку, гибку, вытяжку, формовку. Матрица крепится к столу, а резиновая подушка, помещенная в стальную обойму, крепится к ходовой части прессы (толщина заготовки – до 1,5 мм).

Резиновые пуансоны цилиндрической формы применяются при вытяжке изделий сложной формы, при необходимости увеличения диаметральных размеров средней части цилиндрических полуфабрикатов. При гидравлической вытяжке полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную оболочку.

Высокоскоростные методы штамповки.

Особенностью таких методов является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Кратковременное приложение больших усилий разгоняет заготовку до скоростей 150 м/с. Последующее ее деформирование происходит за счет накопленной в период разгона кинетической энергии. Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются: штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная штамповка (рис. 2.36).

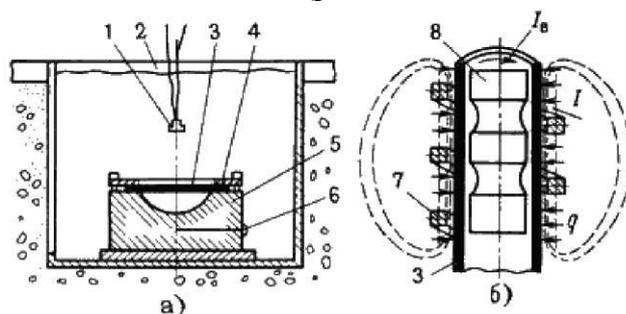


Рис. 2.36. Высокоскоростные методы штамповки: а – электрогидравлическая; б – электромагнитная штамповка

Штамповка взрывом осуществляется в бассейнах, наполненных водой (рис. 2.36 а). Заготовку 3, зажатую между матрицей 5 и прижимом 4 опускают в бассейн с водой 2. Полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумной линии 6. Заряд с детонатором 1 подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли се-

кунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле. При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста.

Электрогидравлическую штамповку также осуществляют в бассейне с водой. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает при кратковременном электрическом разряде в жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее сильное воздействие и деформирует ее по матрице.

При электромагнитной штамповке (рис. 2.36 б) электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Взаимодействие магнитных полей вихревых токов с магнитным полем индуктора создает механические силы, деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединения деталей.

Формообразование заготовок из порошковых материалов.

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами. При холодном прессовании в пресс-форму (рис. 2.37а) засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1. В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки достигается благодаря силам механического сцепления частиц порошка электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

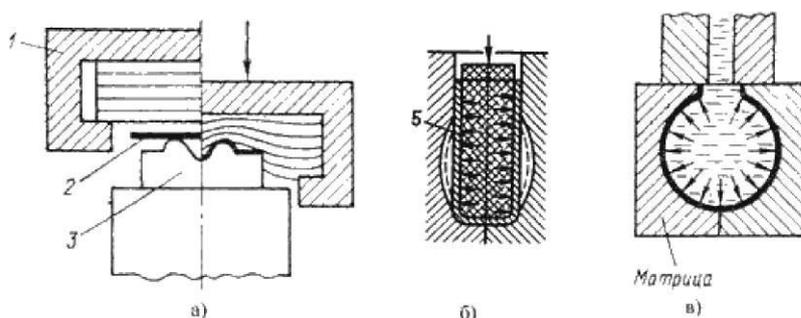


Рис. 2.37. Схема холодного прессования: а – одностороннего; б – двустороннего

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру, меньшим единицы, и заготовки втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки, меньшим трех.

Двустороннее прессование (рис. 2.37 б) применяют для формообразования заготовок сложной формы. После заполнения пресс-формы порошком к верхнему пуансону с помощью гидропресса прикладывают давление для предварительного прессования. Затем гидропривод выключают и удаляют подкладку 4. В дальнейшем в процессе прессования участвуют оба пуансона. В этом случае требуемое давление для получения равномерной плотности снижается на 30...40 %. Использование вибрационного прессования позволяет в десятки раз уменьшить требуемое давление. В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругому и пластическому деформированию. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры увеличиваются в результате упругого последействия.

При горячем прессовании технологически совмещаются прессование и спекание заготовки. Температура горячего прессования составляет обычно 0,6...0,8 температуры плавления порошка. Благодаря нагреву уплотнение протекает гораздо интенсивнее, чем при холодном прессовании. Это позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячим прессованием получают материалы, характеризующиеся высокой прочностью и однородностью структуры. Этот способ применяют для таких плохо прессуемых композиций, как тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, бориды, силициды).

Изостатическое (всестороннее) формование применяют для получения крупногабаритных заготовок с массой до 500 кг и более. Отсутствие потерь на внешнее трение и равномерность давления со всех сторон дают возможность получать необходимую плотность заготовок при давлениях, значительно меньших, чем при прессовании в закрытых пресс-формах.

При гидростатическом формовании на порошок, заключенный в эластичную оболочку, передается давление с помощью жидкости, находящейся в сосуде высокого давления. В качестве рабочей жидкости используют масло, глицерин, воду и т.д.

Прокатка – наиболее производительный и перспективный способ переработки порошковых материалов. Характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность прокатки. Схема прокатки представлена на рис. 2.38. Порошок непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между валками 3. При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту или полосу 4 определенной толщины. Прокатка может быть совмещена со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок. В этом случае лента проходит через печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров.

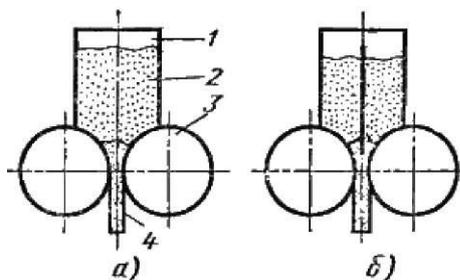


Рис. 2.38. Схема прокатки порошков

Применяя бункеры с перегородкой (рис. 2.38 б) изготавливают ленты из разных материалов (двухслойные). Применение валков определенной формы позволяет получать валки различного профиля, в том числе и проволоку.

ТЕМА 3 СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании. Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При сварке плавлением атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки, так, чтобы получилась смачивающая их, общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.

При сварке давлением обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Этим обеспечивается очистка свариваемых поверхностей от пленок загрязнений, изменение их рельефа и образование атомно-молекулярных связей. Пластической деформации обычно предшествует нагрев, так как с ростом температуры

уменьшается значение деформации, необходимой для сварки и повышается пластичность металла.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Существует множество технологических процессов сварки (более 70). Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

Сварка плавлением. Дуговая сварка

Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки:

- сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом дугой прямого действия, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла, либо с применением присадочного металла;
- сварка плавящимся электродом (металлическим) дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом;
- сварка косвенной дугой, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги;
- сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом.

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручная дуговая сварка.

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 3.1) дуга 8 горит между стержнем 7 электрода и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку 2.

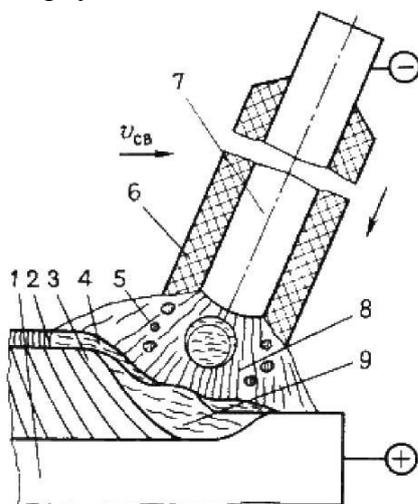


Рис. 3.1. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом.

Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом представлена на рис. 3.2.

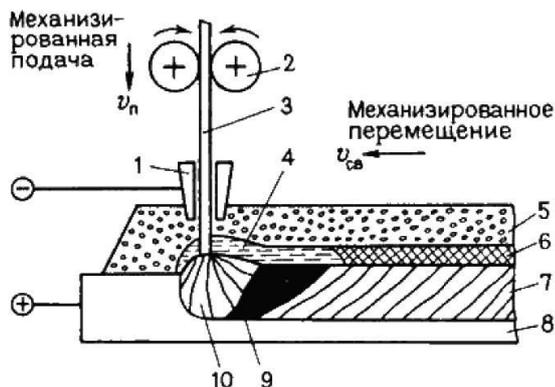


Рис. 3.2. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва. Дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30...50 мм. Часть флюса плавится и образуется жидкий шлак 4, защищающий жидкий металл от воздуха. Качество защиты лучше, чем при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 2. Ток к электроду подводят через токопровод 1.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в 5...20 раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

Флюсы.

Применяемые флюсы различают по назначению. Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокалывания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

Дуговая сварка в защитных газах.

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

Сварка в инертных газах можно выполнять неплавящимися и плавящимися электродами. В качестве неплавящегося электрода применяется прутки вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов.

Сварка в углекислом газе выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей. Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность. Основным недостатком – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30...40% времени сварки).

Плазменная сварка.

Плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частиц или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000...20000°С. Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси. Применяют два основных плазменных источника нагрева: плазменную струю, выделенную из столба косвенной дуги и плазменную дугу, в которых дуга прямого действия совмещена с плазменной струей.

Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, для напыления тугоплавких материалов.

Плазменная дуга обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность.

Плазменной дугой можно сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного материала. Так как плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025...0,8 мм.

Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

Электрошлаковая сварка.

Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 3.3).

Свариваемые заготовки 1 устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами 4 и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку 7 при помощи специального механизма подачи 6.

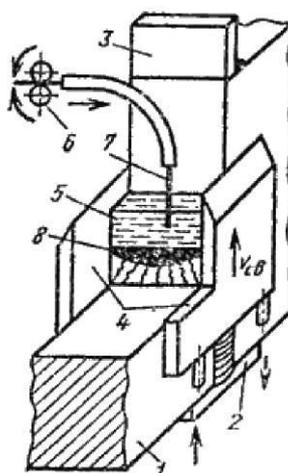


Рис. 3.3. Схема электрошлаковой сварки

В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак 5. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, это приводит к раславлению кромок основного металла и электрода. Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну 8, выжимая шлак вверх, и затвердевает.

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты: в начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках 2 и 3, которые затем удаляют газовой резкой.

Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок. Есть опыт сварки толщиной до 2 м.

Недостаток способа – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение термической обработки: нормализации или отжига для измельчения зерна.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций; станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п.

Лучевые способы сварки.

Электронно-лучевая сварка. Сущность процесса состоит в том, что свариваемые детали, собранные без зазора, помещают в вакуумную камеру и подают на них электродный луч – пучок электронов, движущихся с большой скоростью. При соударении с изделием электроны тормозятся, их кинетическая энергия переходит в тепловую энергию и расплавляет металл. Температура в месте соударения достигает 5000...6000°C. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов. Схема установка для электронно-лучевой сварки представлена на рис. 3.4.

Электроны, испускаемые катодом 1 электронной пушки, формируются в пучок электродом 2, расположенным непосредственно за катодом, ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом 3, составляющей 20...150 кВ и выше, затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На формирующий электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Процессу электронно-лучевой сварки присущи две характерные особенности: сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация расплавленного металла; интенсивность нагрева очень велика, что обеспечивает быстрое

плавление и затвердевание металла. Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной, что позволяет сваривать сплавы, чувствительные к нагреву.

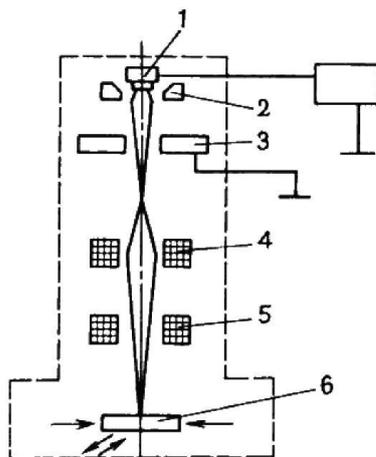


Рис. 3.4. Схема установки для электронно-дуговой сварки

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых), а также алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

Лазерная сварка – способ сварки плавлением, при которых металл нагревают излучением лазера. Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя. Оно возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел на более низкие энергетические уровни. Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимуществом лазерной сварки является быстрый точечный нагрев металла до плавления. Интенсивный сосредоточенный нагрев обуславливает и чрезвычайно большую скорость охлаждения после прекращения воздействия луча. Это позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации. Механизм процессов при лазерной сварке схож с электронно-лучевой сваркой, но не обязательно вакуумировать изделие.

Лазером сваривают преимущественно толщины до 1 мм, так как коэффициент полезного действия преобразования энергии в лазерное излучение довольно низкий.

Газовая сварка.

При газовой сварке заготовки 1 и присадочный материал 2 в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем 4 газовой горелки 3 (рис. 3.5).

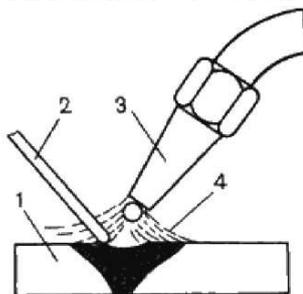


Рис. 3.5. Схема газовой сварки

Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технического чистого кислорода. Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки. Нагрев заготовки

осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют для сварки металла малой толщины (0,2...3 мм), легкоплавких цветных металлов и сплавов; металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни); для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках. При увеличении толщины металла снижается производительность и увеличивается деформация.

Сварка давлением.

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния (2...4) 10^{-3} – 10^{-2} см, при которых возникают межатомные силы притяжения. Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластичных деформаций в зоне соединения в момент сварки.

Контактная сварка.

Сварные соединения получают в результате нагрева деталей проходящим через них током и последующей пластической деформации зоны соединения. Сварка осуществляется на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления. К деталям с помощью электродов подводят ток небольшого напряжения (3...8 В) и большой силы (до нескольких десятков кА). Большая часть тепла выделяется в зоне контакта деталей.

По виду получаемого соединения контактную сварку подразделяют на точечную, шовную, стыковую. Схемы контактной сварки представлены на рис. 3.6.

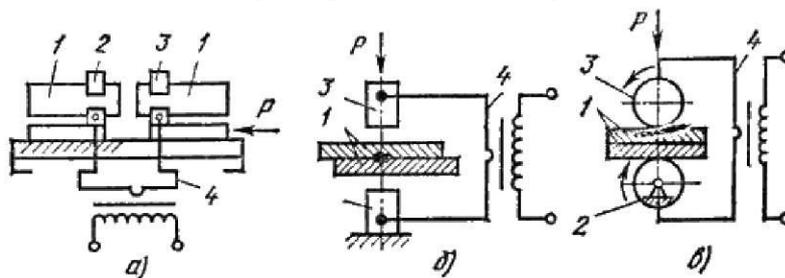


Рис. 3.6. Схемы контактной сварки: а – стыковой; б – точечной; в – шовной

Стыковая контактная сварка (рис. 3.6 а) – способ соединения деталей по всей плоскости их касания. Свариваемые заготовки 1 плотно зажимают в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4. Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включается ток. Поверхность контакта заготовок разогревается до требуемой температуры, ток отключается, производится сдавливание заготовок – осадка.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением, а при разогреве торцов до оплавления с последующей осадкой – сваркой оплавлением. В результате пластической деформации и быстрой рекристаллизации в зоне образуются рекристаллизованные зерна из материала обеих деталей. Сварка применяется для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п.

Точечная сварка (рис. 3.6 б) – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках. Свариваемые заготовки 1, собранные внахлест, зажимают между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора 4. Электроды внутри охлаждаются водой, нагрев локализуется на участках соприкосновения деталей между электродами. Получают линзу расплава требуемого размера, ток выключают, расплав затвердевает, образуется сварная точка. Электроды сжимают детали, пластически деформируя их. Образующееся сварное соединение обладает большой прочностью и его можно применять для изготовления несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем.

Шовная сварка (рис. 3.6 в) – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек. Свариваемые заготовки 1 помещают между двумя роликами-электродами, один из электродов 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора 4. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь. Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений их листового материала толщиной до 5 мм.

Диффузионная сварка.

Диффузионная сварка – способ сварки давлением в вакууме приложением сдавливающих сил при повышенной температуре. Свариваемые детали тщательно зачищают, сжимают, нагревают в вакууме специальным источником тепла до температуры рекристаллизации ($0,4 T_{пл}$), и длительно выдерживают. В начальной стадии процесса создаются условия для образования металлических связей между соединяемыми поверхностями. Низкое давление способствует удалению поверхностных пленок, а высокая температура и давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния. Затем протекают процессы диффузии в металле, образуются промежуточные слои, увеличивающие прочность соединения. Соединения получают при небольшой пластической деформации. Изменение размеров мало.

Сварка может осуществляться в среде инертных и защитных газов: гелий, аргон, водород. Способ применяется для соединения металлов, металлов и полупроводников, а также других неметаллических материалов. Диффузионная сварка широко применяется в космической технике, в электротехнической, радиотехнической и других отраслях промышленности.

Сварка трением.

Сварка трением – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей. Свариваемые заготовки устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых неподвижен, а другой может совершать вращательное и поступательное движения. Заготовки сжимаются осевым усилием, и включается механизм вращения. При достижении температуры $980...1300^{\circ}\text{C}$ вращение заготовок прекращают при продолжении сжатия.

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент или заменяют вращательное движение вибрацией. Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром $0,75...140$ мм.

Преимущества способа: простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения, возможность сварки заготовок из разнородных материалов. Осуществляется сварка на специальных машинах.

Сварка взрывом.

Большинство технологических схем сварки взрывом основано на использовании направленного взрыва. Соединяемые поверхности заготовок, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом друг к другу на определенном расстоянии. На вторую заготовку укладывают взрывчатое вещество и устанавливают детонатор. Сварку осуществляют на жесткой опоре. При соударении двух деталей под действием ударной волны, движущихся с большой скоростью, между ними образуется кумулятивная струя, которая разрушает и уносит оксидные поверхностные пленки и другие загрязнения. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки несколько микросекунд.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами со специальными свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

Тип сварного соединения.

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сварным конструкциям присущи и некоторые недостатки: появление остаточных напряжений; коробление в процессе сварки; плохое восприятие знакопеременных напряжений, особенно вибраций; сложность и трудоемкость контроля.

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку. В зависимости расположения соединяемых деталей различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые (рис. 3.7).

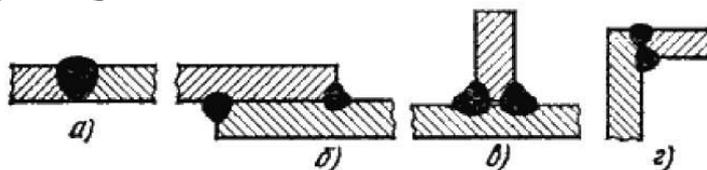


Рис. 3.7. Основные типы сварных соединений:
а – стыковое; б – нахлесточное; в – тавровое; г – угловое

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Формы подготовки кромок под сварку (рис. 3.8) разделяют на V, К, Х – образные. По характеру выполнения сварные швы могут быть односторонние и двухсторонние.

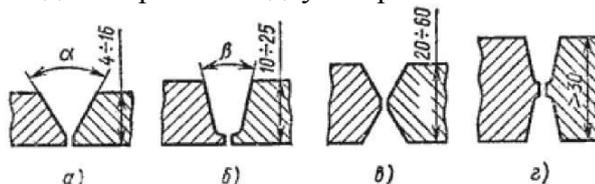


Рис. 18.3. Формы подготовки кромок под сварку:
а – V-образная; б – U-образная; в – X-образная; г – двусторонняя X-образная

Наплавка.

Наплавка – процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия. Наплавка позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например жаростойкостью и жаропрочностью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионной стойкостью и т.п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и в ремонтно-восстановительных работах, существенно удлиняя срок эксплуатации деталей и узлов, обеспечивая этим высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки.

1. Ручная дуговая электродами со стержнями и покрытиями специальных составов.
2. Автоматическая наплавка под флюсом. Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя определяют свойства наплавленного слоя.
3. Наплавка плавящимися и неплавящимися электродами в среде защитных газов. Свойства наплавленного слоя зависят от материала присадки или электрода.
4. Плазменная наплавка. Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Можно плазменной струей оплавливать слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали.
5. Электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная наплавка, а также наплавка газокислородным пламенем.

Существенным показателем эффективности того или иного способа наплавки является степень перемешивания при наплавке основного металла и присадочного: чем она меньше, тем ближе будут свойства наплавленного слоя к заданным.

Напыление.

При напылении расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью. Характер взаимодействия частицы с материалом подложки, последующая кристаллизация частиц определяет качество адгезии покрытия с подложкой. Последующие слои формируются уже за счет связей частиц друг с другом, имеют чешуйчатое строение и существенно неоднородны. По мере повышения стоимости объемного легирования и стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) напыление становится все более предпочтительным.

Для напыления используют источники тепла: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

Наибольшее распространение получили процессы газопламенного и плазменного напыления. Материал для напыления подается в пламя горелки или плазменную дугу в виде проволоки или порошка, где происходит нагрев и распыление частиц, которые тепловым потоком источника нагрева разгоняются и попадают на поверхность напыляемой детали. Иной способ формирования покрытий при нагреве в печах. В этом случае нагретая деталь контактирует с материалом покрытия, находящимся в виде порошка или газовой фазы. Получаемое таким методом покрытие имеет высокую адгезию к поверхности детали за счет активных диффузионных процессов, происходящих в период длительной выдержки в печи при высокой температуре.

Все большее распространение получают ионно-плазменные методы напыления износостойких и декоративных покрытий.

Пайка.

Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой. Образование соединения без расплавления основного металла обеспечивает возможность распая соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. По температуре плавления припои подразделяют на особо легкоплавкие (температура плавления ниже 145 °С), легкоплавкие (145...450 °С), среднеплавкие (450...1100 °С) и тугоплавкие (выше 1050 °С). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

При пайке применяются флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиковый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий.

В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую. В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки. В крупносерийном и массовом производ-

стве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва. Детали для пайки тщательно подготавливаются: их зачищают, промывают, обезжиривают. Зазор между сопрягаемыми поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению.

Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок. При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.

РАЗДЕЛ III ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

ТЕМА 1 СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (НА ПРИМЕРЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ)

Исторический обзор развития учения о резании металлов.

Первые экспериментальные исследования процесса резания металлов проведены во Франции. В 1848–1849 годах капитан французской артиллерии Кокилья проделал опыты по сверлению отверстий в орудийных стволах. Подача сверла осуществлялась с помощью груза. В опытах определялась работа, затрачиваемая на сверление.

В 1851 году Коквилхэт исследовал работу, необходимую для сверления отверстий в железе, бронзе, камне и других материалах. В 1862 году опыты Кокилья повторил капитан французской артиллерии Кларинваль на отличающихся по своим свойствам обрабатываемых материалах: чугуне, стали и бронзе. В 1864 году французский исследователь Джоссель сделал сообщение о влиянии геометрии резца на силу резания.

В конце 70-х годов 19-ого века интенсивно развиваются науки о строении и свойствах металлов. Так, в 1768 году Д.К. Чернов исследует строение металлов и закладывает основы металлургии, в том же году французский академик Треска публикует первые работы по пластической деформации металлов.

В 1780 году наш соотечественник Иван Августович Тиме (1838–1920), профессор Петербургского Горного Института, публикует труд «Сопrotивление металлов и дерева резанию», в котором он «... впервые рассмотрел процесс деформации металла при стружкообразовании». Этот труд и считается началом науки о резании металлов, а его автор, Иван Августович Тиме – ее основоположником.

В 1893 году вышла в свет книга профессора Харьковского Технологического Института Константина Алексеевича Зворыкина (1861–1928) «Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек». Эта работа явилась ценным вкладом в мировую техническую литературу и поставила К.А. Зворыкина в ряд крупнейших ученых-основоположников науки о резании металлов. За свое исследование, описанное в этой книге, К.А. Зворыкин был удостоен премии Русского технического общества. В своем исследовании для измерения усилий он впервые применил гидравлический динамометр. Методика изложенного исследования была настолько совершенна и тщательно продумана, что от современных исследований она отличается только технической оснащенностью. К.А. Зворыкиным была предложена схема сил, действующих на резец, в которой были учтены силы трения на передней и задней поверхностях. К.А. Зворыкин теоретически определил положение плоскости скалывания и высказал предположение, что в плоскости скалывания действуют нормальные силы, вызывающие силы трения между элементами стружки, препятствующие их движению. Значительная часть работы посвящена исследованию зависимости сил резания от толщины стружки.

В 1896 году опубликована работа преподавателя Михайловской артиллерийской академии, капитана А.А. Брикса «Резание металлов». В своей книге автор дал глубокий анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, систематизировал понятия и уточнил терминологию, принятую в резании. Такие термины, как «режущее лезвие», «передняя грань», «задняя грань», «угол заострения», «задний угол», «передний угол» утвердились в науке о резании металлов и сохранились до наших дней.

В 1905–1910 годах – Н.Н. Савиным выполнены исследования влияния смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания и качество обработанной поверхности. Результаты исследования опубликованы в «Известиях СПб Политехнического института» и в «Вестнике общества технологов» в 1910 году.

В 1914 году в «Известиях Донского политехнического института» была опубликована работа Б.Г. Соколова «О форме обдирочных резцов». В этой работе автор обращает внима-

ние на то, что процесс образования стружки следует рассматривать в плоскости «схода стружки», которую в настоящее время мы называем главной секущей плоскостью.

Выдающейся работой после работ И.А. Тиме и К.А. Зворыкина была работа мастера механических мастерских Петроградского политехнического института Якова Григорьевича Усачева (1873–1941) «Явления, происходящие при резании металлов». Для изучения пластической деформации в зоне образования стружки Я.Г. Усачев впервые применил микроструктурный анализ корней стружек, позволивший увидеть плоскости скалывания и плоскости сдвигов внутри элементов стружки. При микроструктурном анализе корней стружек Я.Г. Усачев обратил внимание на явление образования нароста на передней поверхности резца, которое он охарактеризовал как явление приспособляемости металла к условиям резания и указал, что «...нарост образуется всегда, если форма резца не соответствует условиям наименьшего сопротивления резанию...».

Я.Г. Усачев был выдающимся экспериментатором и большим мастером своего дела, опубликованные им фотографии микроструктур корней стружек и нароста, удивляют исключительно высоким качеством их выполнения, собственноручно им изготовленные и применяемые в экспериментах резцы со встроенными полумискусственными термопарами, являют собой образцы ювелирного их исполнения.

Начало работам советского послереволюционного периода времени было положено Андреем Николаевичем Челюсткиным (1891–1926), преподавателем Ленинградской артиллерийской академии. За 7 лет своей научно-педагогической работы он опубликовал целый ряд сочинений, сыгравших большую роль в развитии отечественной науки о резании металлов. Особое место среди его работ занимает сочинение «Влияние размеров стружки на усилие резания металлов».

В годы первой пятилетки 1928-1933 в нашей стране развернулось широкое строительство новых предприятий тяжелой индустрии и реконструкция существующих машиностроительных заводов. В этот период строятся такие гиганты нашей индустрии, как Горьковский автозавод, Сталинградский, Харьковский и Челябинский тракторные заводы, авиационные заводы в Москве, Воронеже и в Горьком, Уралмаш, Ново-Краматорский завод тяжелого машиностроения и другие.

Резкое расширение парка металлорежущих станков и увеличение объема металлообработки потребовало создания научно-обоснованных руководящих материалов по рациональному использованию имеющихся мощностей, выбору оптимальных режимов резания и условий обработки.

Развитие массового производства требовало освоения высокопроизводительных методов обработки металлов с применением специализированных инструментов. Эти задачи в целом потребовали расширения научно-исследовательских работ в металлообработке. Поэтому в 1936 году по инициативе Наркома тяжелой промышленности СССР Григория Константиновича Орджоникидзе была создана «Комиссия по резанию металлов» под председательством профессора МВТУ имени Н.Э. Баумана, Е.П. Надеинской. Членами комиссии стали А.И. Каширин, В.А. Кривоухов, И.М. Беспрозванный и С.Д. Тишин. На основании работ, выполненных под руководством комиссии, впервые в мировой практике металлообработки разработаны справочные материалы по режимам резания всех применявшихся в то время конструкционных материалов и всех видов обработки всеми видами инструмента. Эти материалы были положены в основу государственных нормативов по режимам резания. В результате работ Комиссии были прочно заложены основы Советской школы резания металлов. Впервые в мировой практике созданы нормативно-справочные материалы по резанию металлов.

В период Великой Отечественной Войны проведены широкие исследования, направленные на определение режимов резания максимальной производительности.

Послевоенный период характеризуется глубокими исследованиями накопившихся за время войны узких вопросов по теории резания металлов.

Результаты исследований опубликованы авторами:

1945 г. – В.А. Кривоуховым «Деформирование поверхностных слоев металла в процессе резания».

1946 г. – И.М. Беспрозванным «Физические основы теории резания металлов».

1949 г. – С.Ф. Глебовым «Механизм пластической деформации при резании металлов».

1950 г. – А.И. Исаевым «Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием».

1953 и 1958 г. – опубликованы две монографии М.И. Клушина «Резание металлов».

По вопросам тепловых явлений и износа режущего инструмента опубликованы работы:

1946 г. – А.М. Даниеляна «Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов».

1949 г. – Б.И. Костецкого «Стойкость режущего инструмента».

1949 г. – М.П. Левицкого «Проблема стойкости резцов».

Наряду с теоретическими исследованиями в послевоенный период решаются и новые практические задачи. В этот период осваивается производство новых мощных турбин, атомных реакторов, реактивных двигателей. Детали этих устройств, работающие в условиях действия высоких температур и давлений, изготавливаются из специальных жаропрочных, нержавеющей, эрозионно-стойких и тугоплавких материалов и сплавов, которые трудно поддаются механической обработке. Работы послевоенного периода и были направлены на определение оптимальных условий обработки таких материалов. В 1947 году интенсивно внедряется скоростное резание твердосплавными инструментами.

Современное состояние науки о резании металлов характеризуется глубокими исследованиями физико-химических явлений в зоне резания, исследуются процессы взаимодействия обрабатываемого материала и инструмента, новые инструментальные материалы, исследуется сверхскоростное резание.

Повышение быстроходности и надежности машин потребовало повышения точности обработки и улучшения качества обработанной поверхности. В связи с этим расширились работы по исследованию размерной стойкости инструмента, большое число работ посвящено исследованию внутренних напряжений в поверхностном слое обрабатываемой детали и исследованию влияния различных технологических факторов на усталостную прочность обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить, что в настоящее время обнаруживается несоответствие возможностей металлургической промышленности и металлообработки. Металлургическая промышленность может поставлять нашей промышленности материалы высочайшей прочности, обрабатывать которые обработчики еще не научились и обработка их стоит непомерно дорого. И в этом направлении ведутся исследовательские работы.

Требования к материалам для изготовления режущего инструмента.

Работоспособность металлорежущего инструмента может быть обеспечена только в том случае, если его рабочая часть выполнена из материала, обладающего комплексом определенных физико-механических свойств. Материалы, в той или иной мере отвечающие требованиям этого комплекса и способные осуществлять резание, называются инструментальными. Рассмотрим основные физико-механические свойства инструментальных материалов.

Твердость. Чтобы внедриться в поверхностные слои обрабатываемой заготовки, материал режущих лезвий рабочей части инструментов должен иметь высокую твердость, которая должна быть примерно в два раза выше, чем у обрабатываемого металла. Твердость инструментальных материалов может быть природная, т. е. свойственная этому материалу при его образовании, и может быть получена специальной обработкой. Так, инструментальные стали поставляются с металлургических заводов в отожженном состоянии, и в этом состоянии они легко поддаются обработке резанием. Механически обработанные инструменты подвергают термообработке, шлифованию и заточке. В результате термообработки существенно повышаются прочность и твердость инструментальных сталей. Твердость термообработанных инструментальных сталей измеряется по шкале С Роквелла и выражается в условных единицах HRC. При твердости термообработанных инструментов, изготовленных

из инструментальных сталей, в пределах HRC 63...64 достигаются наиболее устойчивая их работа и наименьшая изнашиваемость лезвий. При меньшей твердости возрастает изнашиваемость лезвий инструментов, а при большей твердости лезвия начинают выкрашиваться из-за чрезмерной хрупкости.

Твердые сплавы, минералокерамика и применяемые для изготовления режущих частей инструментов синтетические инструментальные материалы имеют высокую природную твердость, существенно превышающую твердость термообработанных инструментальных сталей. Твердость минералокерамики и твердых сплавов измеряется по шкале А Роквелла и находится в пределах HRA 87...93. Твердость синтетических инструментальных материалов настолько велика, что сопоставима с твердостью природного алмаза. Поэтому оценку твердости этих материалов производят по их микротвердости, которая находится в пределах 85...94 ГПа.

Конструкционные металлы, имеющие твердость HRC 30...35, удовлетворительно обрабатываются инструментами, выполненными из инструментальных сталей, термообработанных до HRC 63...64, т.е. при отношении твердостей, примерно равном двум. Конструкционные металлы, термообработанные до HRC 45...55, могут быть обработаны твердыми сплавами. Синтетические инструментальные материалы благодаря своей высокой твердости способны производить обработку закаленных сталей.

Прочность. В процессе резания на рабочую часть инструментов действуют силы резания, достигающие значений более 10 кН. Под действием этих сил в материале рабочей части возникают большие напряжения. Чтобы эти напряжения не приводили к разрушениям рабочей части, инструментальные материалы должны быть достаточно прочными.

Из всех инструментальных материалов наилучшим сочетанием прочностных характеристик обладают инструментальные стали. Отношение между их пределами прочности на изгиб и растяжение равно 1,3... 1,6, а отношение между пределами прочности на сжатие и растяжение – 1,6...2,0. Благодаря этому рабочая часть инструментов, выполненных из инструментальных сталей, успешно выдерживает сложный характер нагружения и может работать на сжатие, кручение, изгиб и растяжение. Затем в порядке убывания прочностных характеристик следуют: твердые сплавы, минералокерамика, синтетические инструментальные материалы и алмазы. Все эти материалы достаточно хорошо выдерживают сжимающие напряжения. Однако их существенным недостатком является низкое значение прочности на изгиб ($\sigma_{\text{и}} = 0,3...1,0$ ГПа). Предел же прочности на растяжение у этих материалов настолько мал, что вообще не позволяет производить обработку резанием при действии в них растягивающих напряжений. При использовании этой группы инструментальных материалов необходимо за счет соответствующей геометрии рабочей части инструмента добиваться, чтобы в процессе резания в них действовали только сжимающие напряжения.

Температуростойкость. Интенсивное выделение теплоты в процессе резания металлов ведет к нагреву лезвий инструмента, причем наибольшая температура развивается на контактных поверхностях лезвий. Нагрев до температуры ниже некоторого ее критического значения $\theta_{\text{кр}}$, разного для различных инструментальных материалов, не сказывается на их структурном состоянии и твердости. После нагрева вплоть до этой температуры и охлаждения инструментальные материалы не изменяют своих свойств. При нагреве выше критической температуры в инструментальных материалах происходят структурные изменения и связанное с этим снижение твердости. Критическая температура $\theta_{\text{кр}}$ называется температурой красностойкости. В основе термина «красностойкость» лежит физическое свойство металлов в нагретом до 600 °С состоянии излучать темно-красный свет. По сути своей термин «красностойкость» означает температуростойкость инструментальных материалов. Различные инструментальные материалы имеют температуростойкость в широких пределах – от 220 до 1500 °С.

В порядке убывания температуростойкости инструментальные материалы располагаются в следующем порядке: а) синтетические инструментальные материалы; б) минералокерамика; в) твердые сплавы; г) инструментальные быстрорежущие стали; д) инструментальные углеродистые стали.

Теплопроводность. Увеличение работоспособности режущего инструмента может быть достигнуто не только за счет повышения температуростойкости инструментального материала, но и благодаря улучшению условий отвода теплоты, выделяющейся в процессе резания на лезвии инструмента и вызывающей его нагрев до высоких температур. Чем большее количество теплоты отводится от лезвия вглубь массы инструмента, тем ниже температура на его контактных поверхностях. Теплопроводность λ инструментальных материалов зависит от химического состава и температуры θ нагрева. Приведенные на рис. 1.3 данные показывают, что теплопроводность, например, инструментальных быстрорежущих сталей повышается с увеличением температуры до 650...750°C и уменьшается при нагреве, свыше этих температур. Присутствие в стали таких легирующих элементов, как вольфрам и ванадий, снижает теплопроводящие свойства инструментальных сталей, а легирование титаном молибденом и кобальтом, наоборот, заметно повышает. Это же относится и к твердым сплавам, в состав которых входит карбид титана. Они более теплопроводны, чем твердые сплавы, содержащие только карбид вольфрама.

Коэффициент трения. Значение коэффициента трения скольжения μ конструкционных металлов по инструментальным материалам зависит от химического состава и физико-механических свойств контактирующих пар, а также от контактных напряжений на трущихся поверхностях и скорости скольжения.

В процессе резания металлов значения нормального напряжения на контактных поверхностях лезвий инструментов находятся в пределах 0,1...0,6 ГПа. Под действием столь больших напряжений и сил трения оксидные и адсорбированные пленки на трущихся поверхностях металлов инструмента и заготовки разрушаются. Поэтому условия взаимодействия контактных поверхностей лезвий с обрабатываемыми металлами практически соответствуют условиям сухого внешнего трения, при которых значение коэффициента трения значительно возрастает.

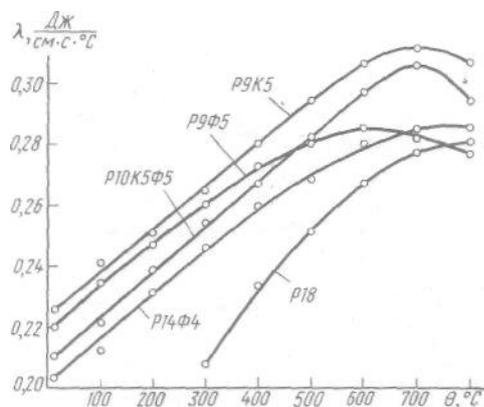


Рис. 1.1. Теплопроводность быстрорежущих сталей

Износостойкость. Взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом протекает в условиях подвижного контакта. При этом оба тела, образующих трущуюся пару, взаимно изнашивают друг друга. Материал каждого из взаимодействующих тел обладает: а) свойством истирать материал, с которым он взаимодействует; б) износостойкостью, выражающей способность материала сопротивляться истирающему действию материала контртела.

Практический интерес при изучении процессов резания представляет износ лезвий инструментов. Изнашивание лезвий инструментов происходит на протяжении всего периода их подвижного контакта с обрабатываемым материалом. В результате этого процесса лезвия теряют некоторую часть своей массы и на них отчетливо видны следы износа в виде нарушений формы рабочих поверхностей.

Износостойкость не является каким-либо неизменным свойством инструментальных материалов и зависит от условий резания. Износостойкость – это количественное выражение работы сил трения, затраченной на превращение некоторой массы лезвия в продукт износа в конкретных условиях взаимодействия с определенным конструкционным металлом. Таким образом, износостойкость B определяется отношением $B = A/t$, где A – работа сил трения; t

– масса продуктов износа. Продукты износа представляют собой весьма мелко диспергированные частицы инструментального материала.

Износостойкость зависит от нормального напряжения на контактных поверхностях взаимодействующей пары трущихся материалов и от скорости относительного скольжения.

Коэффициент линейного и объемного расширения. Так как в процессе резания, инструментальный материал нагревается, то естественно он должен изменять свои размеры, что вносит погрешность в точность изготавливаемой детали. Поэтому коэффициент линейного и объемного расширения должен быть как можно низким.

Слипимость. Характеризуется способностью материалов образовывать наросты и налипсы и удерживать их на инструменте. Прочная связь нароста с инструментом ведет к разрушениям на лезвиях при сколе нароста.

Технологичность. При изготовлении инструмента материал должен хорошо обрабатываться резанием, свариваться, шлифоваться, подвергаться обработке давлением. Должны отсутствовать склонность к трещинообразованию при пайке заточке и доводке. Хорошо закаливаться и т.п.

Недефицитность и низкая стоимость. Это объясняется тем, что расход режущего инструмента достаточно велик, а высокая стоимость инструмента удорожает стоимость изготовления деталей. В целях экономии инструментальных материалов режущие инструменты большей частью изготавливают сборными или сварными. Державки, корпуса, хвостовики инструментов делают из более дешевых конструкционных сталей.

Разработанные в настоящее время инструментальные материалы, в определенной степени, отвечающие рассмотренным выше требованиям, подразделяются на следующие группы: а) углеродистые и низколегированные инструментальные стали; б) быстрорежущие стали; в) твердые сплавы (металлокерамика); г) минералокерамика и керметы; д) синтетические и природные алмазы; е) синтетические композиции из нитрида бора

Инструментальные стали.

В зависимости от химического состава инструментальные стали подразделяются на углеродистые, легированные и быстрорежущие. Углеродистые стали появились в середине XIX века и многие годы были единственным материалом для изготовления режущих инструментов. Содержание углерода в них, от которого во многом зависят свойства сталей, составляет 0,65...1,4%. С ростом содержания углерода до 1% увеличивается твердость, но одновременно падает прочность, повышается опасность образования трещин при термообработке.

Для получения высокой твердости углеродистые стали подвергают закалке (нагревают до температуры 750...820°C и быстро охлаждают в воде) с последующим отпуском при температуре до 200°C для снятия внутренних напряжений и повышения прочности и вязкости. В результате термической обработки углеродистые стали приобретают твердость 61...63 HRCэ и могут обрабатывать материалы твердостью до 30 HRCэ.

Основная особенность углеродистых инструментальных сталей – плохая прокаливаемость и закаливаемость. При высокой твердости поверхностного слоя сердцевина инструментов, несмотря на резкую закалку, остается вязкой. Это хорошо для инструментов с большим числом мелких лезвий малого сечения, так как при этом обеспечивается хорошая износостойкость лезвий и прочность самого инструмента. Лучшую прочность имеют стали с содержанием углерода 1,1...1,2%, сохраняющие мелкозернистое строение и малосклонные к развитию трещин при закалке.

Маркируется углеродистая сталь У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А, У11А, У12, У12А, У13, У13А. Входящая в маркировку этих сталей буква А указывает на высшее качество выплавки. Сталь У7, У7А содержит в среднем 0,7% углерода, а например, У13 – 1,3%С.

Низкая стоимость стали и отсутствие в ней дефицитных элементов обуславливает ее использование и в современном производстве в условиях не вызывающих разогрева рабочей кромки, т.е. для ручных инструментов и работающих на низких режимах резания, а так же резания легкообрабатываемых материалов (см.табл.1.1).

Таблица 1.1 – Режущий инструмент из углеродистых сталей и область его применения

Марки стали	Изготавливаемый инструмент, примерное назначение
У7, У7А	Заменитель стали У8. Зубила, долота, бородки, молотки, лезвия ножниц для резки металла, топоры, колуны, стамески, плоскогубцы комбинированные, кувалды
У8, У8А	Заменитель стали У7А, У7, У10А, У10. Фрезы, зенковки, топоры, стамески, зубила, долота, пилы продольные и дисковые, накатные ролики, кернеры, отвертки, плоскогубцы, боковые кусачки
У9, У9А	Инструмент для обработки дерева (лезвия рубанков, фуганков и т.д.) слесарно-монтажный инструмент, калибры простой формы
У10, У10А, У11, У11А	Метчики ручные, рашпили, надфили, пилы для обработки древесины, матрицы для холодной штамповки, гладкие калибры
У12, У12А	Метчики ручные, метчики машинные мелкоразмерные, плашки для куппов, развертки мелкоразмерные, надфили, измерительный инструмент простой формы, гладкие калибры, скобы
У13, У13А	Напильники, шаберы, гравировальный инструмент

Температуростойкость $\theta_{кр}$ составляет 220°C, а допустимая скорость резания 10...15 м/мин. Из-за малой толщины закаленного слоя эту сталь не используют для крупных инструментов диаметром (толщиной) свыше 30 мм, работающих даже с умеренными нагрузками.

Легированные инструментальные стали.

Они содержат один или несколько специальных легирующих элементов: хром (Х), вольфрам (В), ванадий (Ф), кремний (С), марганец (Г). Наибольшее применение для изготовления режущего инструмента получили стали марки Х, ХГ, 9ХС, В1, ХВГ, ХВСГ. Цифры в начале марок инструментальной легированной стали показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. если марка стали начинается из букв, то среднее содержание углерода равно 1%. Цифры после легирующего элемента показывают среднее его содержание в инструментальном материале. Например, сталь 9ХС содержит 0,9%С; 1%Cr; 1%Si.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки, 9ХС – сверла, развертки, метчики, плашки, гребенки, фрезы. Сталь марки В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков, разверток.

Материал ХВГ из-за малого коробления при термообработке, способности к правке кривизны в горячем и холодном состоянии, хороша для длинных инструментов (протяжки, длинные метчики, длинные развертки, измерительный инструмент, матрицы, пуансоны). После термической обработки твердость легированных сталей составляет 62...65 HRC₃, теплоустойкость 250...350°C. Это позволяет повысить скорость резания до 30 м/мин. При закалке этих сталей температура нагрева составляет 840...860°C, охлаждение в масле с последующим отпуском 150...200°C, 200...300°C, с охлаждением на воздухе. Температура отпуска принимается в зависимости от необходимой твердости.

Быстрорежущие стали.

В начале XX века была разработана высоколегированная инструментальная сталь, названная быстрорежущей. Она содержала 18% вольфрама (W); 4,5%, хрома (Cr) и 1% ванадия (V), 0,7...0,8% углерода (C). по сравнению с углеродистой, новая сталь имела значительно более высокие физико-механические свойства, в особенности температуро- и износостойкость. Инструменты, изготовленные из этой стали, могли обрабатывать стали и чугуны со скоростями резания 30...60 м/мин (в 2...2,5 раза выше, чем инструментами из углеродистых инструментальных сталей, температуростойкость 620°C. Благодаря этим качествам вновь разработанная сталь была названа быстрорежущей. По химическому составу она соответствует современной марке P18. Принцип маркировки быстрорежущей стали аналогичен конструкционным сталям, за исключением того, что вольфрам у них закодирован буквой P, а не буквой В, а также отсутствуют данные о содержании углерода и хрома. Количество вольфрама, который входит в состав многих марок быстрорежущих сталей колеблется от 5,5 до 19,5%, углерода – от 0,6 до 1,55%, хрома – от 3,0 до 4,6%.

Вольфрам взаимодействуя с углеродом образует карбиды вольфрама, благодаря этому сталь приобретает высокую твердость, температуростойкость и износостойкость, при этом теплопроводность стали несколько уменьшается.

Хром обязательный легирующий элемент быстрорежущей стали, обеспечивает повышенную ее закаливаемость и прокаливаемость. Он способствует получению однородной мартенситной структуры одинаковой твердости по всему поперечному сечению инструмента.

Ванадий повышает твердость, сопротивление пластической деформации и теплостойкость. В процессе термообработки ванадий способствует образованию мелкозернистой мартенситной структуры и несколько снижает хрупкость. Поэтому ванадиевые быстрорежущие стали успешно работают при обработке материалов повышенной прочности и твердости, хотя с ограниченными скоростями резания. Недостатком ванадиевых быстрорежущих сталей является склонность к появлению прижогов при шлифовании и заточке.

Молибден повышает прочность и вязкость быстрорежущей стали, что позволяет уменьшить содержание в стали дефицитного вольфрама. Присутствие молибдена способствует повышению теплопроводных свойств сталей и тем самым снижению температуры лезвий инструментов. Его содержание в быстрорежущих сталях не превышает 5%, так как сталь становится склонной к обезуглероживанию и окислению, что требует тщательного предохранения от прижогов при заточке.

Кобальт повышает теплостойкость, твердость, шлифуемость и теплопроводность быстрорежущей стали, снижая вместе с тем ее прочность и вязкость, усиливая обезуглероживание при термообработке.

Титан, ниобий, цирконий, тантал образует очень устойчивые карбиды, которые задерживают рост зерна при закалке. Легирование стали азотом в концентрации не более 0,3-0,04% создает нитриды, также задерживающие рост зерен, повышает твердость, но снижает прочность, требуя обработки резанием без динамических нагрузок. Никель и марганец снижают теплостойкость стали и не улучшают ее режущих свойств.

Степень влияния легирующих элементов на свойства стали зависит от ее химического состава, так как между элементами возможно взаимовлияние. Инструменты из быстрорежущей стали подвергают закалке с нагревом до температуры 1270...1290°C (P18), 1230...1250°C (P9) с последующим охлаждением в масле. Трех-четырёх разовому отпуску с 1 часовой выдержкой при температуре 560...580°C и охлаждением на воздухе.

В термообработанном состоянии быстрорежущие стали по предмету прочности (σ_B) и на изгиб ($\sigma_{0.2}$) – превышают все другие инструментальные материалы. Они имеют не только высокую прочность, но сохраняют упругость и вязкость. Они способны выдерживать большие контактные напряжения, возникающие на лезвиях в процессе резания металлов. Твердость быстрорежущей стали после закалки и отпуска обычно составляет 63...66 HRC₃, но у сталей повышенной теплостойкости может быть 66...67,5 HRC₃. Теплостойкость большинства марок находится в пределах 620...640°C.

Наивысший предел прочности на изгиб у стали P6M5 (от 3300 до 3400 МПа), для других марок он, например, составляет: P18 – 2900...3100; P9Ф5 – 2600...2900; P9K5 – 2500; P9K10 – 2050...2100.

Применяемые быстрорежущие стали делятся на три группы: нормальной, повышенной и высокой производительности.

К сталям нормальной производительности относятся вольфрамовые стали (P9, P12, P18), вольфрамомолибденовые (P6M5, P6M3, P8M3 и др.) безвольфрамовые (9X6M3Ф3АГСТ и др.) Последние соответствуют свойствам стали P6M5. Наиболее универсально по своим свойствам сталь P18, пригодная для любых режущих инструментов, хорошо шлифуемая и технологичная. Ограниченное применение она имеет вследствие большого содержания дефицитного вольфрама. основной маркой для широкого использования является сталь P6M5, близкая по режущим свойствам к стали P18, более прочная и дешевая, но склонная к обезуглероживанию при нагреве и требующая большей культуры в эксплуатации.

Стали повышенной производительности дополнительно легированы кобальтом и ванадием. К ним относятся стали с теплостойкостью 625...640°C: вольфрамокобальтовые (P9K5, P9K10 и др.); вольфрамованадиевые (P9Ф5, P12Ф3, P14Ф4, P18Ф2 и др.); вольфрамомолибденовые с кобальтом и ванадием (P6M5K5, P9M4K8, P6M5Ф3, P6M5Ф2K8 и др.); вольфра-

мованадиевые с кобальтом (P10Ф5К5, P12Ф4К5, P18К5Ф2); вольфрамванадиевые с кобальтом и молибденом (P12Ф32К10МЗ, P12Ф2К5МЗ, P18Ф2К8М др.).

Стали повышенной производительности применяют для обработки коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных деформируемых сталей и сплавов, а также высокопрочных сталей.

Порошковые быстрорежущие стали.

Порошковые быстрорежущие стали характеризуются повышенной шлифуемостью и пластичностью при холодной и горячей деформации, обладают повышенной (на 500...700 МПа) прочностью при изгибе и в 1,5...2,5 раза более высокой стойкостью по сравнению с быстрорежущими сталями аналогичного состава обычного производства. Высокая прочность сталей при изгибе позволяет работать на повышенных подачах с сохранением заданных характеристик.

Порошковые быстрорежущие стали P9M4K8-МП и P10M6K8 обладают повышенной красностойкостью, хорошо шлифуются; предназначены для обработки материалов повышенной твердости до 38...42 HRC и нашли применение в инструментах для станков с ЧПУ. Стойкость режущих инструментов из этих сталей в 1,5...2 раза выше, чем из сталей P6M5 и P18.

Порошковые быстрорежущие стали P6M5Ф3-МП, P6M5K5-МП, P6M5Ф2K8-МП и 13P6M5Ф3-МП при обработке труднообрабатываемых материалов обеспечивают по сравнению со сталями обычного производства аналогичного состава повышение стойкости до 4 раз, хорошо поддаются шлифованию. Их применяют для изготовления различных, в том числе и крупногабаритных инструментов, инструментов сложной формы с большим объемом шлифования (зуборезный инструмент, червячные фрезы, протяжки и т.д.).

Стали высокой производительности характеризуется высокой теплостойкостью (700...725°C) и вторичной твердостью после закалки и отпуска (69...70 HRC₃). К ним относятся стали B11M7K23, B24M12K23, B18K25X4 и др. Инструменты из сталей высокой производительности имеют высокую стойкость при повышенных режимах резания жаропрочных и титановых сплавов. При обработке указанных материалов стойкость инструментов из стали высокой производительности на ряде операций до 30 раз выше по сравнению с инструментами из стали P18 и до 10 раз выше, чем из BK8 и кобальтовых быстрорежущих сталей.

К быстрорежущим сталям высокой производительности относятся стали нового класса – карбидостали. Карбидостали – это новый класс инструментальных материалов для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, изготавливаемых методами порошковой металлургии. Это композиционный материал, в котором зерна тугоплавких карбидов (преимущественно TiC) равномерно распределены в связке из легированной стали.

Карбидостали сочетают твердость и износостойкость твердых сплавов с прочностью и вязкостью легированных сталей и по своим характеристикам занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. Высокое содержание карбидной фазы обеспечивает сталям лучшую, чем у обычных сталей, износостойкость, а наличие термообрабатываемой связки позволяет эти материалы подвергать механической обработке в отожженном состоянии. Материал термостоек, легче быстрорежущих сталей на 13%, твердых сплавов – на 50%.

Карбидостали выпускаются двух марок P6M5-KT20 и P6M5K5-KT20 с массовой долей TiC 20%. Вторичная твердость карбидосталей 70...72 HRC₃ (87...89 HRA), прочность при изгибе 2000...2500 МПа, ударная вязкость 80...120 Дж/м², теплостойкость 650...690°C, плотность материала 7,10 г/см³.

Стойкость режущего инструмента из карбидосталей при обработке жаропрочных литейных сплавов на никелевой основе КС6КП, ЭИ-867 в 2,5...3,5 раза выше стойкости сталей повышенной производительности; при торцовом фрезеровании сплава ВЖ-122 стойкость инструмента в 10 раз выше, чем из стали P18, и в 2 раза выше, чем из стали P7M2Ф6M5-МП.

При изготовлении инструментов из быстрорежущих сталей их рабочую часть выполняют цельными или соединяют с крепежной сваркой. Крепежная часть выполняется из кон-

струкционной (сталь 45, 50, 40X и т.п.), а при тяжело нагруженных работах – сталь У10 или 9ХС. Рекомендуемые области применения наиболее распространенных быстрорежущих сталях приведены в табл.1.2.

Твердые (металлокерамические) сплавы.

Твердые (металлокерамические), инструментальные сплавы – это материалы, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, связанные кобальтом. Это не стали, так как в них нет железа. свое название они получили из-за высокой твердости карбидов и материала в целом и по первоначальной технологии получения на основе расплавления компонентов с последующей отливкой. В дальнейшем технологию заменили на другую (порошковую металлургию), но название «сплав» сохранилось.

Таблица 1.2. – Режущий инструмент из быстрорежущих сталей и область его применения

Марки стали	Изготавливаемый инструмент, примерное назначение
P18	Режущий инструмент всех видов, для обработки конструкционных сталей с пределом прочности до 1000 МПа
P9	Резцы, сверла, зенкеры и др., для обработки конструкционных материалов, в т.ч. древесины
P6M5	То же, что и стали P18, а также зуборезные и резьборезные инструменты для обработки коррозионно-стойких сталей
P14Ф4	Резцы, зенкеры, развертки для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами – стеклопластиков, пластмасс, эбонита, чистовые инструменты простой формы, для обработки легированных сталей и сплавов
P6M5Ф3	Для чистовой и получистовой обработки фасонными резцами, развертками, протяжками, фрезами и др. конструкционных углеродистых, легированных и улучшенных сталей и сплавов
P18Ф2К5; P18Ф2К8М P18Ф2; P6M5K5 P9M4K8; P8M3K6C	Резцы, сверла, зенкеры, фрезы, метчики для обработки углеродистых легированных конструкционных сталей, а также жаропрочных сплавов и прочных сталей высокой твердости
P12M3Ф2К8	Взамен стали P18Ф2К8М, автоматные резцы, в т.ч. фасонные инструменты, работающие на высоких скоростях резания, при обработке конструкционных сталей
11P3AMЭФ2 9X4MЭФ2АГСТ	Все виды инструментов для обработки не упрочненных сталей и чугунов, а также цветных металлов и сплавов
B11M7 K23	Все виды инструментов для обработки титановых сплавов и некоторых высокопрочных коррозионно-стойких сталей и сплавов
P6M5K5-МП P9M4K8-МП	Для тех же целей, что и стали P9M4K8, P6M5K5, обладают лучшей шлифуемостью, менее деформируются при термообработке, обладают большей прочностью, показывают более стабильные эксплуатационные свойства

Различают три основные группы твердых сплавов: однокарбидные или вольфрамокобальтовые (группа ВК) длительное время называемые "победитами", двухкарбидные (группа ТК) или титановольфрамовые, и трехкарбидные или вольфрамотитанотанталокобальтовые (группа ТТК). Карбиды, т.е. химические соединения с углеродом WC, Ti, TaC, придают твердость, износостойкость сплаву, но повышают хрупкость, а кобальт уменьшает твердость, износостойкость и допускаемую температуру резания, однако делает сплав более прочным и противостоящим ударным нагрузкам. Твердость этих сплавов выше твердости быстрорежущей стали на 11...12% и составляет по шкале А Роквелла 87...92 единицы. Теплостойкость однокарбидных сплавов равна 900...927°C, двухкарбидных – 1000...1027°C, трехкарбидных – 750°C. Кратковременно двухкарбидные сплавы могут работать при нагреве до 1250°C и обрабатывать даже закаленные стали.

Предел прочности при сжатии у твердых сплавов примерно того же уровня, что и у быстрорежущей стали, но на изгиб они работают хуже в 1,5...2 раза. Однокарбидные сплавы менее хрупки чем двухкарбидные, но зато двухкарбидные меньше склонны к наростообразованию, что позволяет обрабатывать материалы дающие сливную стружку. Наиболее распространенными марками твердых сплавов группы ВК являются ВК3, ВК3М, ВКИ, ВК4В, ВК6, ВК6-ОМ, ВК6М, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК8К, ВК10, ВК10М, ВК10-ОМ.

Сплав ВК3, например, содержит 3% Со и 97% карбидов вольфрама WC. Индексы в конце марок сплавов указывают на зернистость порошков вольфрама: В – крупнозернистые с

величиной зерна 3...5 мкм; М – мелкозернистые – 1,5 мкм; ОМ – особомелкозернистые – менее 1 мкм. При отсутствии индекса – 1...2 мкм.

Эта группа обладает значительной вязкостью и высокой износостойкостью при обработке хрупких материалов, дающих стружку надлома (чугуны, цветные металлы и их сплавы, пластмассы и др.). Сплавы с малым содержанием кобальта ВК2 и ВК3, ВК3М при значении для чистовых работ. ВК6, ВК8 – черновых работ при переменных нагрузках, Мелкозернистые сплавы ВК3М, ВК6М для обработки хрупких материалов значительной твердости (отбеленных чугунов, бронзы, стекла, фарфора) т.к. хорошо точатся и имеют острую кромку.

Вышеназванные материалы при обработке вязких материалов имеют низкую износостойкость. Допускаемые скорости резания при черновом точении серого чугуна резцом из материала ВК8 равна 125 м/мин, а при чистовом точении – 200 м/мин, резцом из материала ВК2, ВК3. При обработке закаленных материалов скорости резания составляют 60...100м/мин.

Сплавы группы ТК характеризуются меньшим сопротивлением изгибу, но высокой износостойкостью при обработке вязких материалов дающих при обработке сливную стружку. Например чистовое и получистовое точение сталей, нарезание резьб, зенкерование, чистовое фрезерование рекомендуется проводить инструментами из материала Т15К6, содержащего 15% Ti, 6%Co и 79% WC. При понижении в Т в сплаве содержания карбидов титана и повышении в нем кобальта снижается твердость инструментального материала, но возрастает сопротивление изгибу ($\sigma_{из}$). В связи с этим сплавы марок Т5К10 могут работать с ударными нагрузками, а Т14К8 – при черновом точении с переменными нагрузками, а также строгании и фрезеровании.

Сплавы группы ТК имеют низкую теплопроводность. Это приводит к образованию трещин при быстром нагреве. Следовательно, при заточке инструмент следует обильно охлаждать. Кратковременные допускаемые скорости резания при точении конструкционных сталей составляют: для токарных резцов материала Т30КИ – до 500 м/мин при чистовом точении; Т15К6 – до 400 м/мин при чистовом точении; Т14К8 – до 200 м/мин при чистовом точении; Т5К10 – до 115 м/мин при черновом точении. При обработке закаленных сталей скорости резания составляют 60...100 м/мин.

Сплавы группы ТТК по своим физико-механическим свойствам являются промежуточными между вольфрамовыми и титановольфрамовыми сплавами. Они имеют более высокую прочность и вязкость, чем сплавы группы ТК, но уступают им по твердости и теплостойкости. Благодаря высокой износостойкости и эксплуатационной прочности ударным нагрузкам и вибрациям сплавы группы ТТК эффективны при черновой обработке сталей и сплавов. Они широко применяются в тяжелом машиностроении.

Разработаны и нашли применения высокоэффективные марки твердого сплава группы ТТК (ТТ8К6, ТТ21К9 и ТТ20К9А). Стойкость сплава ТТ8К6 в 2...2,5 раза выше стойкости сплава ВК6М при чистовой и получистовой обработке легированных сталей. Сплав ТТ21К9 обладает в 3 раза большей стойкостью по сравнению со сплавом ТТ7К9 при черновом и получистовом фрезеровании легированных сталей; стойкость сплава ТТ20К9А в 2-2,5 раза превышает стойкость сплава Т14К8 при фрезеровании сталей.

Пример расшифровки сплава ТТ8К6 – 6%Co, 8% карбидов титана и тантана TiC+TaC и 76% карбидов вольфрама WC. Температуростойкость сплавов группы ТТК составляет 800°C.

Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) – это сплавы на основе карбида (TiC) и карбонитрида (TiN) титана, цементованных никелемолибденовой связкой (Ni+Mo). Разработка БВТС вызвана возрастающим дефицитом на вольфрамовую руду и кобальт, используемые в производстве обычных твердых сплавов. Безвольфрамовые твердые сплавы по сравнению с вольфрамовыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, но отличаются повышенной температурой стойкостью (до 1000°C) и низкой схватываемостью с обрабатываемыми материалами. Благодаря высокой плотности БВТС при заточке режущих инструментов можно получить острую кромку, что особенно ценно для инструмента, предназначенного для чистовой обработки. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наросто-

образования. Эти свойства и предопределили область их применения – чистовое и получистовое точение и фрезерование конструкционных и малоуглеродистых сталей, чугунов и некоторых цветных металлов. Сплавы БВТС обеспечивают меньшую шероховатость поверхности по сравнению с твердым сплавом, что дает возможность заменять шлифование точением и способствует повышению производительности труда в 2...2,5 раза. Износостойкость БВТС в 1,2...1,5 раза выше износостойкости сплавов группы ТК. БВТС изготавливаются следующих марок ТМ1; ТМ3; КТН12; КТН16; КТН20; ТН20; КХН10; КХН15 и др.

Наибольшее распространение из них получили КТН16 (TiN-74%; Ni-19,5%; Mo-6,5%) и ТН20 (TiC-79%; Ni-15%; Mo-6%).

Скорости резания БВТС марок ТН20 при обработке конструкционных сталей 100...350 м/мин; чугунов – 70...130 м/мин, латунь, бронза – 50...200 м/мин. Марки КТН16: стали – 80...250 м/мин, чугуны – 70...120 м/мин; латунь, бронза – 50...170 м/мин. Нижние пределы скоростей даны для обработки термообработанных сталей и чугунов. Вследствие неудовлетворительных термических свойств БВТС плохо поддаются пайке и заточке, поэтому их применяют в основном в виде неперетачиваемых пластин.

Минералокерамические материалы.

Минералокерамические материалы (ГОСТ 26630-85) обладают высокой твердостью (92...94 HRA) и теплостойкостью (100...1400°C), а также износостойкостью. Они делятся на два основных вида: оксидную белую керамику, содержащую до 99,7% окиси алюминия (Al_2O_3) и оксидно-карбидную черную керамику, состоящую из окиси алюминия и одинарного карбида титана (Al_2O_3+TiC) или сложных карбидов титана, вольфрама, молибдена (до 40%).

Керамика первого вида, например марки ЦМ 332 ВО13, имеет низкую прочность на изгиб 300...400 МПа и используется на получистовых и чистовых операциях нетермообработанных сталей, серых чугунов с высокими скоростями резания (до 800...1000 м/мин) на виброустойчивом оборудовании без охлаждения. Недостатком оксидной минералокерамики является ее низкая прочность и хрупкость. Ей не рекомендуется обрабатывать цветные металлы и их сплавы. Повышенной, примерно в два раза, прочностью на изгиб (до 600...700 МПа) обладают керамические материалы второго вида, например ВОК-60, ВОК-63, В-3 и др. Эти материалы выпускаются в виде пластин, которые крепятся к корпуса различных инструментов. В последние годы начали применять оксидно-нитридную керамику (картинит), например марки ОНТ-20 (состоит из Al_2O_3+TiN), и керамику на основе нитрида кремния, например марки силинит-Р твердостью 94-96 HRA, прочностью на изгиб 650...750 МПа (цвет коричневый). Стойкость инструмента с минералокерамикой в 5...10 раз выше стойкости инструмента, оснащенного сплавами групп ВК и ТК, при увеличении производительности в 2 раза.

Оксидно-карбидная (смешанная, черная) керамика ВОК-60, ВОК-63, В-3, картинит ОНТ-20 предназначены для чистовой, получистовой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до 30...55 HRCэ и 56...65 HRCэ; кроме того, керамика В-3 и ОНТ-20 рекомендуется для обработки цветных металлов на основе меди; нитридная керамика силинит-Р – для получистовой обработки чугунов и сплавов на основе никеля.

Сверхтвердые материалы (СТМ).

Сверхтвердые материалы подразделяются на естественные и искусственные. К первым относятся алмазы, ко вторым алмазы синтетические, материалы на основе нитрида бора и композиционные материалы, содержащие алмаз, нитрид бора, карбиды металлов и твердые окислы.

Алмаз – самый твердый инструментальный материал, представляющий собой кристаллическую модификацию углерода, алмаз является эталоном твердости (его твердость порядка 100 ГПа). Он обладает высокой износостойкостью, хорошей теплопроводностью, что позволяет вести обработку резанием на высоких скоростях, малым коэффициентом трения и высоким сопротивлением адгезии металлов.

Для изготовления резцов применяют кристаллы алмаза весом 0,31..0,85 карата (1 карат = 0,2 г). Кристаллы алмаза рекомендуются прозрачные, без трещин, раковин и других дефектов.

К недостаткам алмаза как инструментального материала для режущего инструмента следует отнести пониженную теплостойкость 650...700°С и повышенную хрупкость (сопротивление изгибу 210...480 МПа), что требует использования станков повышенной жесткости и виброустойчивости, другой недостаток – алмаз растворяется в железе при их контакте с нагревом выше температуры 700°С. Химическая и коррозионная стойкость алмаза высока. Самые крепкие кислоты и даже царская водка (смесь соляной и азотной кислот) не нарушают его структуру, но в содовом растворе и в расплавах щелочей, натриевой и калиевой селитрах алмаз растворяется. На воздухе алмаз сгорает при температуре 850...1000°С, превращаясь в графит.

Синтетические алмазы получают из графита при высоких давлениях (1000 ГПа) и температурах (2500°С). Они значительно дешевле природных алмазов и находят наиболее широкое применение (более 90% используемых алмазов являются синтетическими). Выпускаются синтетические алмазы в виде порошков (зерен монокристаллов), поликристаллов (ГОСТ 9206–80) и композиционных материалов.

Алмазные порошки используются для изготовления абразивного инструмента (шлифовальных кругов, лент, напильников). Спеканием алмазного порошка получен материал СВБН, а синтетических алмазных порошков СКМ – температуростойкость до 950°С. Для изготовления лезвийного и выглаживающего инструмента также используются поликристаллы синтетических алмазов марок баллас (АСБ-5; АСБ-5А; АСБ-6), карбонадо (АСПК-1; АСПК-2, АСПК-3). По твердости поликристаллы близки к монокристаллам природного алмаза, а по прочности на изгиб в 2...3 раза превосходят его.

Режущие инструменты из поликристаллов синтетических алмазов (их диаметр до 8 мм) обладают повышенной режущей способностью при обработке титановых, алюминиевых и медных сплавов, стеклопластиков, композиционных материалов, минералокерамики и других материалов. Стойкость инструмента из этих материалов превышает стойкость твердосплавных инструментов.

На основе синтетических алмазов созданы композиционные материалы, состоящие из подложки толщиной 2...4 мм и нанесенного на нее алмазного слоя толщиной – 1 мм. Для подложки используются пластины из твердых сплавов групп ВК и БВТС. Двухслойные пластины дают возможность объединить высокие твердость и износостойкость алмазов с прочностью твердых сплавов. Выпускаются пластины марок АТП (алмазно-твердосплавные пластины) и БПА (бипластины алмазные).

Рекомендуемые диапазоны режимов резания АС приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом, оснащенным поликристаллическим алмазом, при точении

Обрабатываемые материалы	v, м/мин	S _z , мм/об	t, мм
Алюминий и алюминиевые сплавы	600...3000	0,03...0,3	0,05...1,0
Алюминиевые сплавы (10–20% кремния)	500...1500	0,03...0,3	0,05...1,0
Медь и медные сплавы (бронзы, латуни, баббиты и др.)	300...1000	0,03...0,3	0,05...1,0
Пластмассы, пластики, стеклопластики, углепластики, твердая резина, различные композиты	200...1000	0,03...0,3	0,05...1,0
Полуспеченные керамика и твердые сплавы	100...300	0,03...0,15	0,05...1,0
Спеченные твердые сплавы	15...40	0,03...1,0	0,05...1,0
Древесностружечные материалы	2000...4000	0,03...0,3	–
Горные породы (песчаник, гранит)	50...400	0,03...0,3	0,05...1,0

Примечания: 1. Даны рациональные скорости резания, обеспечивающие повышение интенсивности съема припуска. Алмазный инструмент в отличие от инструмента из КНБ можно эксплуатировать и на низких скоростях, при которых работает твердосплавный инструмент, обеспечивая многократное повышение стойкости.
2. При фрезеровании скорости могут быть увеличены до 2 раз.
3. Глубина резания древесностружечных материалов определяется шириной фрез или пил.

Кубический нитрид бора (кубонит) является уникальным синтетическим инструментальным материалом (его состав: бор – 44%, азот – 56%). Исходным материалом для его получения является гексогональный нитрид бора, близкий по своим характеристикам к графиту. В результате синтеза при высоких давлениях и температурах этот материал с гексогональной решеткой превращается в КНБ с более плотной кубической решеткой. По твердости КНБ (90 ГПа) близок к твердости алмаза, а по теплостойкости колеблется от (1100°С до 500°С). Следует отметить инертность КНБ ко всем конструкционным материалам.

Современные сверхтвердые материалы получают синтезом из гексагонального нитрида бора [эльбор-Р (композит 01) и белбор (композит 02)]; синтезом из вюртцитоподобной модификации нитрида бора [гексанит-Р (композит 10) и ПТНБ (композит 09)]; спеканием из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавками киборий (композит 05). Рекомендуемые усредненные диапазоны скоростей и подач приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом, оснащенным композитом, при точении и растачивании

Обрабатываемые материалы и покрытия	Характер резания	Композит	v, м/мин	S _z , мм/об	t, мм
Стали конструкционные и легированные, инструментальные и подшипниковые, 40...58 HRC ₂	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д	50...180 40...120	0,03...0,20 0,03...0,10	0,05...3,0 0,05...1,0
Стали быстрорежущие, инструментальные, цементуемые, 58...70 HRC ₂	Без удара С ударом	01; 02 10; 10Д	50...120 40...100	0,03...0,1 0,03...0,07	0,05...0,8 0,05...0,4
Чугуны серые и высокопрочные, 150...300 HB	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д	400...1000 300...800	0,03...0,5 0,03...0,2	0,05...1,0 0,05...2,0
Чугуны отбеленные, 400...600HB	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д	50...200 40...90	0,03...0,5 0,03...0,10	0,05...2,0 0,05...1,0
Твердые сплавы с содержанием кобальта не мене 15%, 80...86 HRA	Без удара	10; 01; 02; 10Д	5...20	0,08...0,1	0,05...1,0
Износостойкие покрытия на основе никеля (плазменное нанесение), 47...57HRC ₂	По корке	01; 02; 10; 10Д	40...100	0,03...0,15	0,1...0,5
Примечание. При фрезеровании скорости могут быть увеличены в 2..3 раза.					

Резание материалов с применением сверхтвердых материалов имеет ряд особенностей, например при точении с ударом, особенно сталей и чугунов высокой твердости, наличие радиуса при вершине $r = 0,8...1,0$ мм является необходимым условием надежной работы резцов из СТМ. Например, достаточно высокую работоспособность в таких условиях имеют круглые неперетачиваемые пластины из композита 01 (диаметр 3,6 мм) с $r = 1,8$ мм, хотя этот композит для точения с ударом в общем не предназначен. Уменьшение радиуса до 0,2...0,4 мм нецелесообразно, так как это резко повышает опасность выхода инструмента из строя вследствие скола или выкрашивания, в то время как уменьшение радиальной составляющей силы резания при этом незначительно. Кроме того, такое уменьшение приводит к существенному увеличению шероховатости обработанной поверхности. В тяжелых условиях резания (с ударом, по корке и т.п.) режущей кромке инструмента из композита рекомендуется придать округленную форму с радиусом $\rho = 30...50$ мкм либо сделать стандартную защитную фаску шириной 0,05...0,20 мм на передней поверхности под углом $\gamma = -20^\circ$.

Весьма эффективная фаска (ленточка) шириной не более 0,1 мм на задней поверхности ($\alpha = 0$), имитирующая площадку износа. Эта фаска снижает интенсивность изнашивания инструмента на стадии приработки, уменьшает вероятность выкрашивания режущей кромки и оказывает выглаживающее действие на обработанную поверхность. Влияние такой фаски возрастает при увеличении переднего угла, т.е. при переходе от отрицательных γ к положительным.

При фрезеровании всегда следует стремиться к достижению максимально возможной скорости резания и уменьшению подачи на зуб. Это объясняется следующими причинами: подача на зуб и частота вращения шпинделя в равной мере влияют на значение минутной

подачи, т.е. на производительность фрезерования, однако подача на зуб в значительно большей степени, чем скорость резания, влияет на стойкость фрезы, оснащенной СТМ, и надежность их работы; при увеличении скорости резания шероховатость обработанной поверхности уменьшается, а при увеличении подачи растет; при увеличении скорости резания сила резания уменьшается, а при увеличении подачи на зуб растет, т.е. снижается точность обработки.

Сравнительная оценка режущих свойств инструментальных материалов.

Режущие свойства инструментов, изготовленных из различных инструментальных материалов, могут быть оценены сравнительным сопоставлением, например, по температуростойкости (рис.) или по износостойкости (рис.).

Можно отметить (см.рис.), что температуростойкость находится в определенном соответствии с другими физико-механическими свойствами – твердостью и прочностью. С ростом последних увеличивается и температуростойкость. Но прямой пропорциональности здесь нет. Так, твердость углеродистых и низколегированных сталей не уступает твердости быстрорежущих сталей, а их прочностные свойства отличаются незначительно. В то же время температуростойкость быстрорежущих сталей более чем в 2,5 раза выше, чем углеродистых и низколегированных сталей. Исключением является также и низкая температуростойкость синтетических алмазов, в то время как по твердости они занимают одно из первых мест среди других инструментальных материалов.

Одной из главных эксплуатационных характеристик режущих свойств инструментальных материалов, которая суммарно отражает большинство остальных физико-механических свойств, является износостойкость B . Из рис. видно, что износостойкость инструментальных материалов определяется как их природой и химическим составом, так и скоростью резания v . Среди всех групп инструментальных материалов наименее износостойки углеродистая (кривая 1) и низколегированная (кривая 2) инструментальные стали. Максимум их износостойкости приходится на скорости резания 20...30 м/мин.

Наиболее износостойки быстрорежущие стали (кривая 3), причем в среднем для этой группы максимум износостойкость имеет место при скоростях резания ≈ 50 м/мин.

При более детальном рассмотрении все марки быстрорежущих сталей по износостойкости могут быть разделены на три группы.

К первой группе отнесены стали, которые содержат 4...5% ванадия (P9Ф5), P9K5Ф5), P14Ф4, P10K5Ф5 и др.) Они оказываются наиболее износостойкими в зоне малых скоростей резания ($v < 30$ м/мин) Из этих сталей целесообразно изготавливать развертки, метчики, гребенки, зуборезный инструмент, протяжки.

Ко второй группе отнесены стали, содержащие $\approx 18\%$ вольфрама (P18, P18M, П18M2, P18Ф2). В интервале скоростей резания 30...60 м/мин эти марки имеют наибольшую износостойкость. Однако острый дефицит вольфрама не позволяет в настоящее время рекомендовать их для широкого применения.

Более широко поэтому используются стали третьей группы, содержащие 6...9% вольфрама (P6, P6M3, P6M5, P6M5K5, P9, P9K5, P9K10, P9M4K8Ф). Эти стали содержат молибден, кобальт и ванадий. Стали третьей группы обладают наибольшей износостойкостью в зоне скоростей резания свыше 60 м/мин. Из них изготавливают все виды металлорежущих инструментов, работающих в условиях больших скоростей резания.

Износостойкость твердых сплавов подгруппы ВК при обработке конструкционных сталей гораздо ниже износостойкости быстрорежущих сталей. Твердые сплавы подгруппы ВК малопригодны для обработки сталей. В то же время при обработке чугунов, особенно в зоне малых скоростей резания, износостойкость сплавов этой подгруппы достаточно высока, что и определяет область их основного применения. Только в случаях обработки термообработанных сталей и при прерывистом резании бывает целесообразно использовать сплавы этой подгруппы, причем лучше те, которые имеют повышенное содержание кобальта.

Износостойкость твердых сплавов подгруппы ВТК по абсолютной величине меньше, чем у быстрорежущих сталей, но расположение максимума соответствует высоким скоро-

стям резания $v \approx 200$ м/мин, что согласуется с их возможностями по температуростойкости. Более подробное рассмотрение износостойкости твердых сплавов этой подгруппы показывает, что увеличение в составе сплава карбидов титана ведет к смещению максимума износостойкости в сторону больших скоростей резания. Так, при обработке стали 45 увеличение содержания в сплаве карбида титана TiC от 15 до 60% позволяет увеличить скорость резания, соответствующую максимальной износостойкости, в 2 раза. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов подгруппы ВТК, используются для высокопроизводительной обработки конструкционных сталей.

Минералокерамика имеет весьма высокую износостойкость. При обработке конструкционных сталей максимум износостойкости минералокерамики находится в области скоростей резания порядка 300 м/мин, а при обработке чугуна – ≈ 600 м/мин.

Нитрид бора (эльбор) и синтетический алмаз имеют износостойкость большую, чем все остальные инструментальные материалы. Инструменты, оснащенные этими материалами, способны вести чистовую обработку со скоростями резания до 1000 м/мин.

Разработка новых марок инструментальных материалов неизменно будет вестись по пути повышения рассмотренных двух свойств – температуро- и износостойкости, определяющих режущую способность инструментов.

Классификация металлорежущих станков.

Каждый металлорежущий станок получает цифровой трехзначный или четырехзначный шифр. Часто к цифрам добавляют буквы, обозначающие дополнительную характеристику станка.

Первая цифра обозначает группу, вторая – тип, а третья (при четырехцифровом обозначении – третья и четвертая) – типоразмер станка.

Прописные буквы после первой цифры указывают на модернизацию станка.

Рассмотрим несколько примеров.

Станок 1К62: цифра 1 обозначает, что станок относится к токарной группе; буква К обозначает, что станок модернизирован, цифра 6 – тип станка (токарно-винторезный); цифра 2 – высоту центров станка, равную 200 мм.

Станок 2Н135А: цифра 2 – вторая группа (сверлильный станок); буква Н – станок модернизированный; цифра 1 – вертикально-сверлильный; цифра 35 – максимально допустимый диаметр сверления в мм в стали средней твердости; буква А – станок может работать на автоматическом цикле.

Станок 736: цифра 7 – седьмая группа (строгальные, долбежные и протяжные станки); цифра 3 – поперечно-строгальный (шепинг); цифра 6 – максимальный ход ползуна 600 мм.

Кинематические схемы и условные обозначения их элементов.

Совокупность механизмов, передающих движение от двигателя к рабочему органу станка, называется приводом. В настоящее время в машиностроении применяются индивидуальные приводы, которые характеризуются применением на каждом станке своего электродвигателя. Разновидность индивидуального привода – многомоторный привод, характеризуется использованием на одном станке нескольких электродвигателей, каждый из которых приводит в движение определенный орган станка.

Передачами называются механизмы, преобразующие или передающие движение от одного узла станка к другому. Передачи бывают зубчатые цилиндрические, зубчатые конические, ременные, цепные, червячные, реечные, винтовые. На рис. 1.2 приведены основные схемы передач с указанием их назначения и расчетные формулы, характеризующие данную передачу.

Станки	Группа	Типы								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	одношпиндельные Вертикально-сверлильные	многошпиндельные Полуавтоматы	многошпиндельные Обдирочно-шлифовальные	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
			одношпиндельные Внутришлифовальные							
Шлифовальные, доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	—	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные станки, работающие абразивом
Комбинированные	4	—	—		—	—	—	—	—	—
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные		Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	—	Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	одностоечные	двухстоечные	—	—	—	—	—	—	—
Разрезные	8	Отрезные, работающие абразивным диском, резцом, кругом			Правильно-отрезные	Ленточные	Дисковые пилы	Ножовочные	—	—
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	—	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

Рис. 1.1. Классификация металлорежущих станков

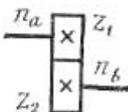
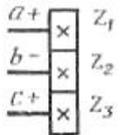
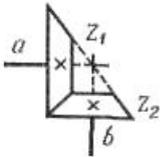
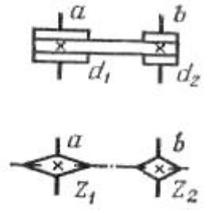
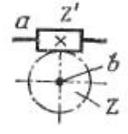
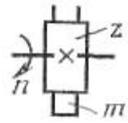
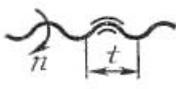
Название передачи	Эскиз	Назначение передачи	Расчетные формулы
Зубчатая цилиндрическая		Передача вращения между параллельными валами; ведомый вал вращается в противоположную сторону по отношению к ведущему	$n_B = n_a z_1 / z_2$
Зубчатая цилиндрическая с паразитным колесом		Передача вращения между параллельными валами; ведомый вал вращается в ту же сторону, что и ведущий	$n_c = n_a (z_1 / z_2)$ $(z_2 / z_3) = n_a z_1 / z_3$
Зубчатая коническая		Передача вращения между перпендикулярными валами	$n_B = n_a z_1 / z_2$
Ременная и цепная		Передача вращения между параллельными валами	$n_B = n_a d_1 / d_2$ $n_B = n_a z_1 / z_2$
Червячная		Передача вращения между непересекающимися валами. В червячной передаче ведущим является червяк, ведомым — колесо	$n_B = n_a z' / z$
Реечная		Для преобразования $v = \pi m z$ мм/мин вращательного движения в поступательное и наоборот	
Винтовая		Для преобразования $v = \pi t z'$ мм/мин вращательного движения винта в поступательное движение гайки	

Рис. 1.2. Схемы передач металлорежущих станков

ТЕМА 2

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ РЕЗАНИЯ. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, СТАНКИ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Основные виды обработки металлов резанием. Клин – основная форма режущей части инструмента.

При обработке металлов резанием изделие получается в результате срезания с заготовки слоя припуска, который удаляется в виде стружки. Готовая деталь ограничивается вновь образованными обработанными поверхностями. На обрабатываемой заготовке в процессе резания различают обрабатываемую и обработанную поверхности. Кроме того, непосредственно в процессе резания режущей кромкой инструмента образуется и временно существует поверхность резания (рис. 2.1).

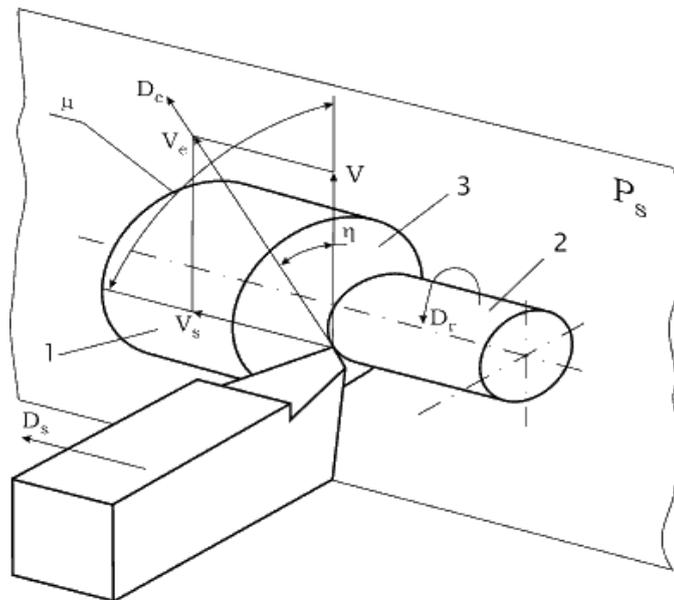


Рис.2.1 Поверхности и движения при резании: 1 – обрабатываемая поверхность; 2 — обработанная поверхность; 3 – поверхность резания; P_s – рабочая плоскость; V – вектор скорости резания; V_s – вектор скорости движения подачи; V_e – вектор скорости результирующего движения; D_r – главное движение; D_s – движение подачи; D_e – результирующее движение.

Для осуществления процесса резания необходимо и достаточно иметь одно взаимное перемещение детали и инструмента. Однако для обработки поверхности одного взаимного перемещения, как правило, недостаточно. В этом случае бывает необходимо иметь два или более, взаимосвязанных движений обрабатываемой детали и инструмента. Совокупность нескольких движений инструмента и обрабатываемой детали и обеспечивает получение поверхности требуемой формы. При этом движение с наибольшей скоростью называется главным движением (D_r), а все остальные движения называются движениями подачи (D_s). Суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение и движение подачи, называется результирующим движением резания (D_e). Геометрическая сумма скорости главного движения резания и скорости движения подачи определяет величину скорости результирующего движения резания (V_e). Плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения резания и движения подачи (рис. 2.1), называется рабочей плоскостью (P_s). В этой плоскости измеряются угол скорости резания φ и угол подачи ψ . Для случаев токарной обработки этот угол равен 90° .

Интенсивность процесса резания определяется напряженностью режима резания. Режим резания характеризуют три параметра: глубина резания t (мм); подача s (мм/об); скорость резания v (м/мин);

Глубиной резания называется толщина слоя обрабатываемого материала, срезаемого за один проход инструмента.

Подачей называется величина перемещения инструмента или обрабатываемого изделия в единицу времени или величина, этого перемещения, отнесенная к величине главного движения.

Скоростью резания называется скорость перемещения поверхности резания относительно режущей кромки инструмента. Скорость резания можно представить как путь, пройденный режущим инструментом в единицу времени в направлении главного движения по поверхности резания.

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м / мин}$$

где D – диаметр обрабатываемой заготовки; n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

Площадь среза и объем снятой стружки при точении.

Величина подачи и глубины резания определяют размер площади поперечного сечения срезаемого слоя (сечения среза):

$$f = t \cdot s, \text{ мм}^2.$$

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и напряженность процесса резания наиболее полно оценивается не величиной площади поперечного сечения среза, а величинами ширины и толщины поперечного сечения срезаемого слоя (см. рис.2.2). Толщиной срезаемого слоя (среза) a называется расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания. Шириной срезаемого слоя b называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Форма поперечного сечения среза зависит от формы режущей кромки инструмента и от расположения ее относительно направления движения подачи. При резании инструментом с прямолинейной режущей кромкой толщина среза a постоянна на всей ширине среза, а при резании инструментом с криволинейной режущей кромкой толщина среза неодинакова в разных точках по ширине среза. Из рис.2.2 видно, что при постоянных значениях подачи s и глубины резания t ширина среза b и толщина среза a изменяются в зависимости от положения режущей кромки, в зависимости от угла φ между режущей кромкой и направлением подачи.

В результате того, что режущий инструмент имеет вспомогательный угол φ_1 не равный нулю, фактическая площадь среза $f_{\text{факт.}}$ меньше номинальной на величину площади среза остающихся на обработанной поверхности гребешков. Величина их Δf несоизмеримо мала по сравнению с номинальной, и для выполнения каких-либо расчетов ею можно пренебречь.

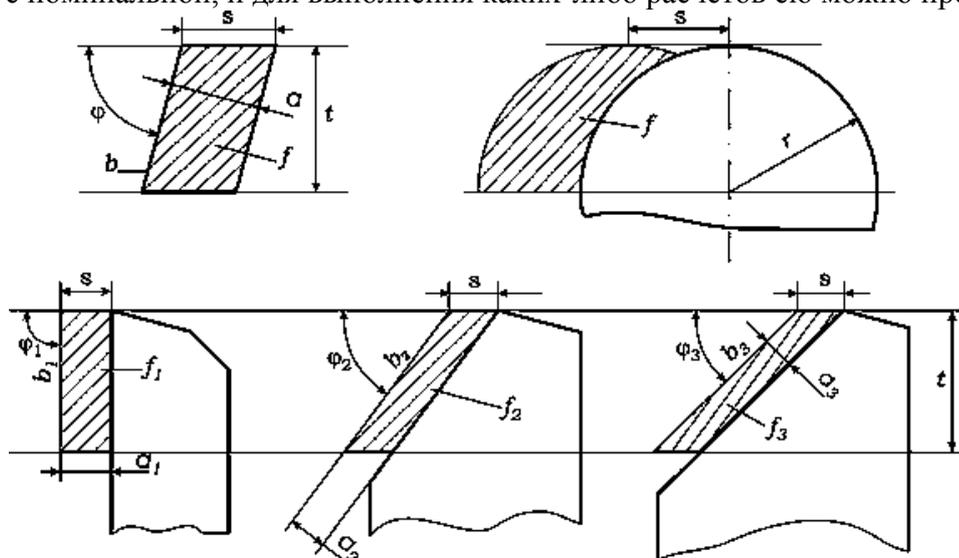


Рис. 2.2. Форма и размеры площади поперечного сечения среза:
 $f_1 = f_2 = f_3 = t \cdot s = a_1 \cdot b_1 = a_2 \cdot b_2 = a_3 \cdot b_3; a_1 > a_2 > a_3$

Производительность обработки резанием может характеризоваться объемом металла, срезаемого в единицу времени. Этот объем, $\text{мм}^3/\text{мин}$, может быть определен как произведение площади поперечного сечения среза и длины пути, пройденного режущим инструментом в единицу времени – скорости резания:

$$Q = t \cdot s \cdot v \cdot 1000, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где: t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об; v – скорость резания, м/мин.

Кроме того, производительность механической обработки может оцениваться также величиной площади поверхности, обработанной в единицу времени, или по другим показателям.

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и образования стружки кроме указанных ранее параметров характеризуется еще и степенью осложненности условий, в которых совершается образования стружки. По этому признаку различают два случая резания: свободное и несвободное (осложненное).

1. *Свободное резание*. Происходит в случае, когда в резании участвует одна прямолинейная режущая кромка. Деформированное состояние срезаемого слоя при этом является плоским. Пример свободного резания указан на рис. 2.3а. В этом случае деформация совершается в плоскостях, параллельных друг другу, и все элементарные объемы срезаемого слоя могут свободно перемещаться в параллельных направлениях. Свободное резание может осуществляться также при строгании прямых гребешков на плоской поверхности призматической заготовки или при точении с поперечной подачей буртика на цилиндрическом образце (заготовке).

Длина прямолинейной режущей кромки инструмента в обоих этих случаях должна быть больше ширины гребешков или буртика на ширину перекрытия режущего лезвия. Свободное резание обычно производится при выполнении каких-либо экспериментов в различных исследованиях.

Это делается для того, чтобы исключить влияние осложненного деформирования срезаемого слоя на исследуемое явление. Получить хороший корень стружки для изучения, например, пластической деформации срезаемого слоя или образования нароста, можно только при свободном резании, при котором все явления в зоне резания совершаются в семействе параллельных плоскостей, поэтому одинаковы в каждой из них.

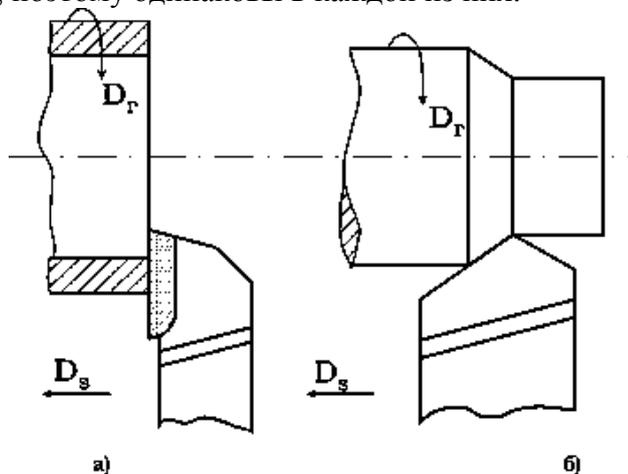


Рис. 2.3. Свободное (а) и несвободное резание (б).

2. *Несвободное (осложненное) резание* (рис. 2.3 б). Характеризуется тем, что отдельные объемы срезаемого слоя на разных участках режущей кромки перемещаются в разных направлениях, что создает условия сложного деформирования и затрудняет образование стружки. При несвободном резании отдельные элементарные объемы срезаемого слоя перемещаются в разных направлениях и поэтому в разных точках зоны резания одни и те же явления совершаются по-разному, с разной степенью интенсивности. Картина состояния материала в зоне резания в одной секущей плоскости не является типичной для всех других секущих плоскостей и не повторяет картины состояния материала в других секущих плоскостях.

По расположению режущей кромки режущего лезвия относительно направления главного движения (вектора скорости резания) резание может быть прямоугольным или косоугольным. При расположении режущей кромки под прямым углом к направлению главного движения резание называется прямоугольным. Если же режущая кромка расположена к направлению резания не под прямым углом (косо), резание называется косоугольным. При прямоугольном резании стружка завивается в плоскую логарифмическую спираль, а при косоугольном резании – в винтовую, направление и шаг которой зависят от расположения кромки.

Резание может осуществляться режущими инструментами с одним режущим лезвием или с несколькими. Согласно этому резание может называться однолезвийным или многолезвийным. Оно может быть непрерывным, например, при точении, или прерывистым, как при фрезеровании, и происходить с постоянным или переменным сечением среза.

Конструктивные элементы токарного резца. Системы координат и координатные плоскости. Геометрические параметры лезвия токарного резца в каждой системе координат.

Отделение срезаемого слоя металла производится режущим лезвием инструмента. Режущая часть инструмента ограничивается рабочими поверхностями, которые в зависимости от расположения относительно обрабатываемого изделия имеют определенные названия. Разные инструменты имеют различную форму зажимной и режущей частей, однако их режущие части имеют общее устройство и ограничиваются рабочими поверхностями, присутствующими у режущей части любого инструмента. Обычно режущая часть имеет одну переднюю и несколько задних поверхностей.

На рис. 2.4. показаны рабочие поверхности и режущие кромки режущих частей: а – токарного резца, б – долбежного резца, в – спирального сверла, г – слесарного зубила, д – зерен абразивного инструмента.

Передней поверхностью (1) называется поверхность, по которой сходит образующая в процессе резания стружка. Главной задней поверхностью (2) называется поверхность, обращенная к поверхности резания. Вспомогательной задней поверхностью (3) называется поверхность, обращенная к обработанной поверхности.

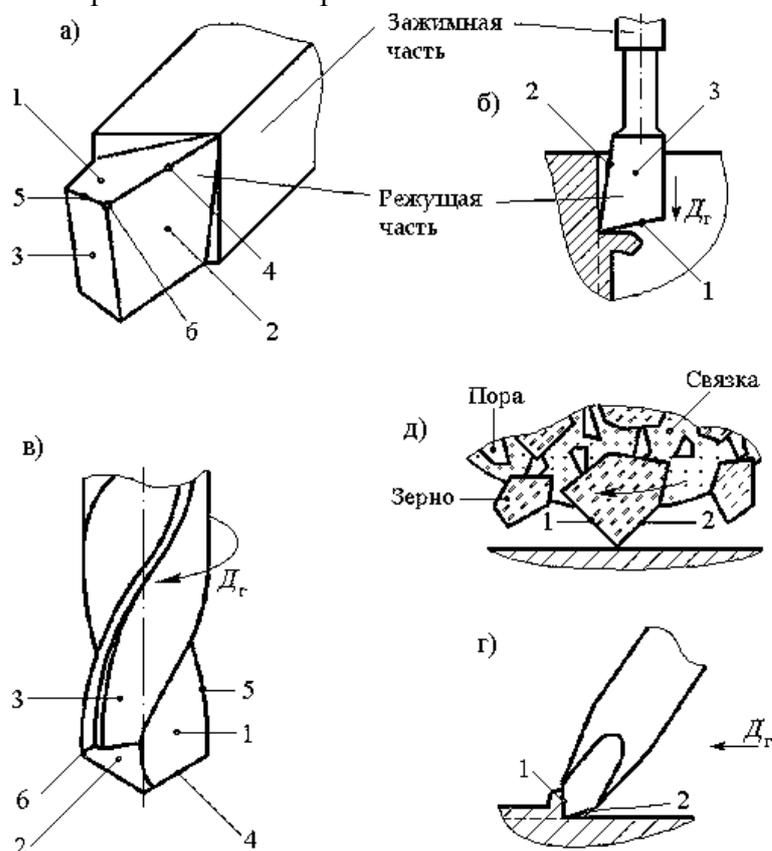


Рис. 2.4. Составные части и рабочие поверхности инструментов:

1 – передняя поверхность, 2 – главная задняя поверхность, 3 – вспомогательная задняя поверхность, 4 – главная режущая кромка, 5 – вспомогательная режущая кромка, 6 – вершина режущего лезвия.

Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называется главной режущей кромкой (4). Пересечением передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образуется вспомогательная режущая кромка (5). Точка пересечения главной (4) и вспомогательной (5) режущих кромок называется вершиной (6) режущего лезвия (резца, режущего зуба).

Для обеспечения эффективной работы режущего инструмента поверхности его режущего лезвия должны располагаться определенным образом относительно направления движения резания. Для рассмотрения геометрических параметров режущей части инструмента устанавливаются системы координатных плоскостей и сами координатные плоскости: плос-

кость резания и основная плоскость. Для контроля режущего инструмента применяется инструментальная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.

Статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания.

Геометрические параметры (углы) режущего инструмента рассматриваются в этих системах координат. В статической – как геометрические параметры твердого тела – неподвижного предмета, в кинематической – как углы работающего инструмента в процессе резания. На рис. 2.5. показаны токарный резец в проекции на основную плоскость 1, сечения его в главной секущей плоскости 2, в рабочей плоскости 3 и вспомогательной секущей плоскости 4, вид резца со стороны главной задней поверхности 5 и следы координатных и секущих плоскостей.

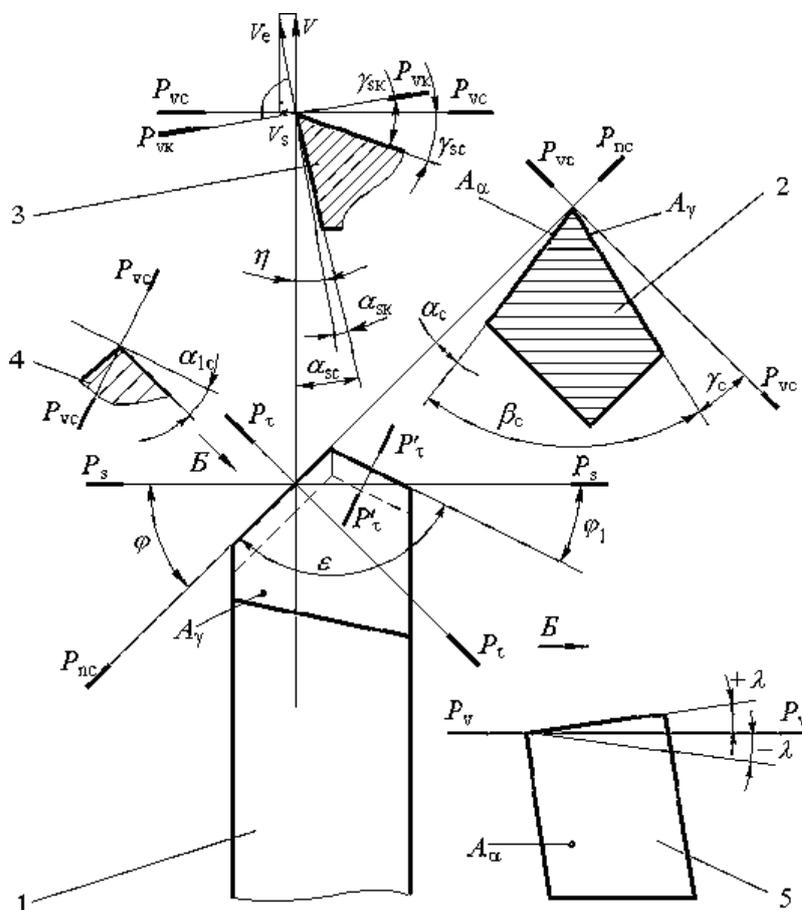


Рис. 2.5. Геометрические параметры режущей части резца в статической системе координат:
 P_{vc} – след основной плоскости; P_{nc} – след плоскости резания; P_s – след рабочей плоскости;
 P_z – след главной секущей плоскости.

Основной плоскостью P_v называется координатная плоскость, проходящая перпендикулярно направлению главного движения (вектору скорости резания). Для случая токарной обработки она параллельна продольной и поперечной подачам и параллельна опорной поверхности (основанию) призматической зажимной части резца.

Плоскостью резания P_n называется координатная плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости и параллельно направлению движения подачи, называется рабочей плоскостью P_s .

Геометрические параметры режущего инструмента рассматриваются в плане, то есть в проекции на основную плоскость, и в секущих плоскостях: главной секущей плоскости, нормальной секущей плоскости, в рабочей плоскости и в других вспомогательных секущих плоскостях.

Нормальной секущей плоскостью P_n называется секущая плоскость, проходящая перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.

Главной секущей плоскостью P_z называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку.

В плане, то есть в проекции на основную плоскость, рассматриваются следующие углы (рис. 2.6): главный угол в плане φ , угол при вершине в плане ε , вспомогательный угол в плане φ_1 . Эти углы связаны между собой зависимостью: $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$.

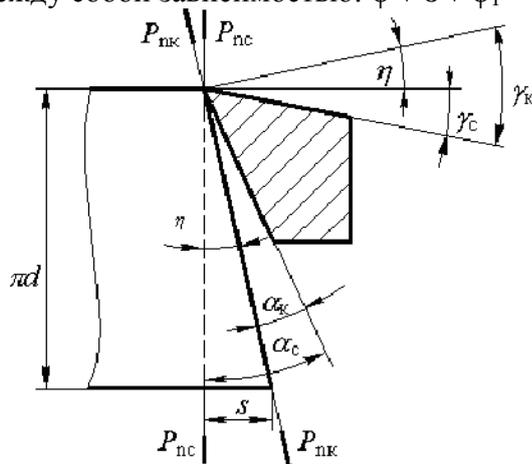


Рис. 2.6. Статические и кинематические углы реза и зависимость их от подачи и диаметра обрабатываемой поверхности

В главной секущей плоскости P_z рассматриваются углы: главный задний α , передний угол γ и угол заострения β . Во вспомогательной секущей плоскости P'_z рассматривается и измеряется только один угол – вспомогательный задний угол α_1 . В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ . Сумма углов реза в главной секущей плоскости равна 90 градусам: $\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ$.

Кроме рассмотрения углов реза в статической системе координат как углов какого-то геометрического тела (или углов реза в статике) следует рассматривать углы реза в движении, в кинематической системе координат. В результате сложения главного движения с движением подачи при резании изменяется величина углов режущего инструмента, приданных ему при заточке.

Углы в статической системе координат называются статическими углами, углы в кинематической системе координат – кинематическими. Величина кинематических углов отличается от величины статических на величину кинематического угла скорости резания η , угла между векторами скорости резания v и скорости результирующего движения v_c . Из рис. 2.5. видно, что при резании задний угол уменьшается, а передний увеличивается на величину угла скорости резания. Величина этого кинематического угла легко определяется из схемы на рис. 2.6, где резец условно показан в контакте с разверткой обрабатываемой торцевой поверхности на цилиндрической заготовке. Здесь видно, что:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{s}{\pi \cdot d}; \quad \eta = \operatorname{arctg} \frac{s}{\pi \cdot d}$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; s – величина подачи, мм/об.

$$\alpha_k = \alpha_c - \eta; \quad \gamma_k = \gamma_c + \eta$$

Действительная величина углов реза зависит также от установки его относительно оси центров токарного станка. Зависимость эта поясняется схемой на рис. 2.7.

Из схемы видно, что действительная величина переднего и заднего углов ($\alpha_d + \gamma_d$) изменяется на величину угла установки α_y . Его величина определяется из соотношения

$$\sin \alpha_y = \frac{h}{d/2} = \frac{2h}{d};$$

где d – диаметр обрабатываемой детали, мм; h – высота смещения вершины резца, мм.

Величина угла γ_y равняется величине угла: $\gamma_y = \alpha_y$.

Действительные углы: $\alpha_d = \alpha_c \pm \alpha_y$; $\gamma_d = \gamma_c \pm \gamma_y$.

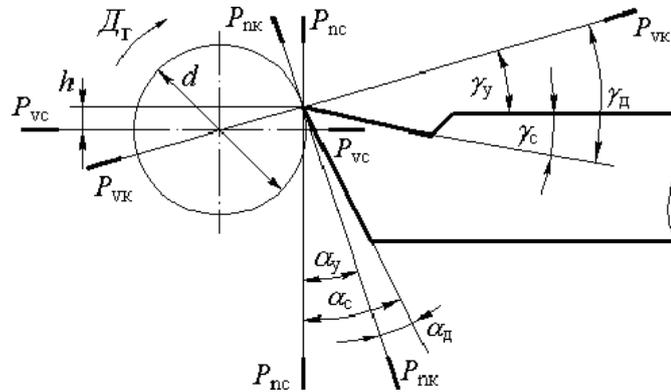


Рис. 2.7. Зависимость величины переднего и заднего углов от установки резца

На представленных выше рисунках показаны упрощенные схемы расчета действительных углов. В обычных, не упрощенных случаях величины углов находятся в более сложной зависимости. Из приведенных данных видно, что изменение углов инструмента при резании тем больше, чем меньше диаметр обрабатываемого изделия и больше подача. При установке резца выше центра задний угол уменьшается, а передний – увеличивается. При установке резца ниже центра увеличивается задний угол и уменьшается передний.

Процесс образования стружки. Классификация стружек. Влияние режимов резания и свойств обрабатываемого материала на вид получаемой стружки.

Конкретная задача процесса резания заключается в образовании новой поверхности. Поскольку прочность обрабатываемого материала соизмерима с прочностью материала инструмента, для обеспечения работоспособности инструмента его приходится упрочнять путем увеличения угла заострения до 90° и более. При такой конфигурации инструмента весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации и превращается в стружку, а сам процесс резания по существу становится процессом пластической деформации всего срезаемого слоя припуска на обработку.

В процессе механической обработки в зависимости от свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и величины элементов режима резания могут образовываться различные по своему виду стружки. По внешнему виду и может быть бесчисленное множество, которое подразделяется на три основных вида: стружки скалывания, сливные и стружки надлома. На рис. 2.8а представлена микрофотография корня стружки скалывания в главной секущей плоскости и на рис. 2.8 б с микрофотографией корня сливной стружки.

В стружке скалывания четко видны ее отдельные элементы. В сливной стружке на 2.8б. отдельные элементы трудно различимы. Вид образующейся стружки зависит от многих факторов, таких как, например, свойства внешней среды, в которой осуществляется резание, величины переднего угла инструмента и других факторов.

При внимательном рассмотрении корня сливной стружки можно увидеть, что отдельные ее элементы, деформированы (вытянуты) в направлении, не совпадающем с положением плоскости скалывания, расположенной под углом β_1 . На рис. 2.9. видно, что разрушение срезаемого слоя происходит по плоскости скалывания, а наибольшая пластическая деформация происходит в другом направлении, под углом к этой плоскости, под углом β_2 . Первое

направление под углом β_1 принято называть направлением наибольших напряжений, второе направление под углом β_2 называют направлением наибольших деформаций.

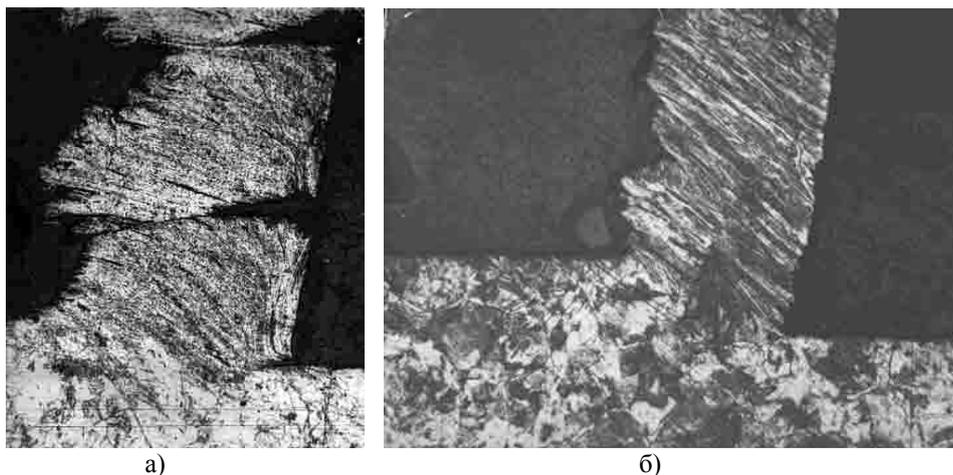


Рис. 2.8. Микрофотография корня стружки скалывания, полученного при резании коррозионнстойкой стали 12X18H10T (а) и сливной стружки, полученного при резании стали 40X (б).

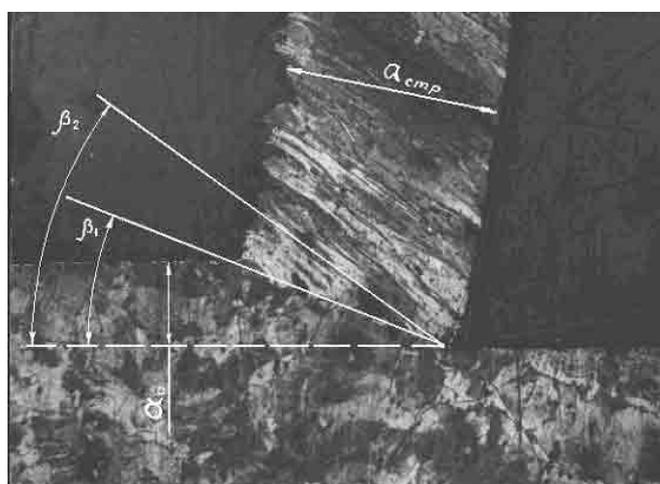


Рис. 2.9. Микрофотография корня стружки, полученного при точении стали 45.

На фотографиях корней стружек можно видеть так же, что в прирезцовой части стружки (особенно хорошо видно на рис. 2.8а) деформация не имеет строго выраженного направления, прирезцовые слои металла вытянуты в направлении, параллельном передней поверхности инструмента. Такая вторичная деформация срезаемого слоя происходит из-за сильного трения на передней поверхности, в зоне контакта ее с прирезцовой поверхностью уже образовавшейся стружки.

При резании материалов средней пластичности на средних скоростях резания образуются стружки скалывания, при резании мягких пластичных материалов или тех же, но на больших скоростях резания образуются сливные стружки.

Процесс образования стружек скалывания происходит в описанной ниже последовательности (рис. 2.10). Под действием силы P резец внедряется в обрабатываемый материал и производит смятие его в каком-то объеме. По мере перемещения резца длина площадки смятия $l_{см}$ увеличивается и на обрабатываемый материал, на его элементарный объем – элемент будущей стружки, действует все большая возрастающая сила. Увеличение этой силы идет до тех пор, пока не произойдет скалывание элемента по плоскости 1–1 под углом β_1 . Эта плоскость называется плоскостью скалывания, а угол β_1 – углом скалывания.

Со стороны резца на элемент стружки действует сила $P_{см}$:

$$P_{см} = \sigma_{см} \cdot f_{см} = \sigma_{см} \cdot l_{см} \cdot b$$

где $\sigma_{см}$ – предел прочности обрабатываемого материала на смятие; b – ширина среза; $l_{см}$ – длина площадки смятия.

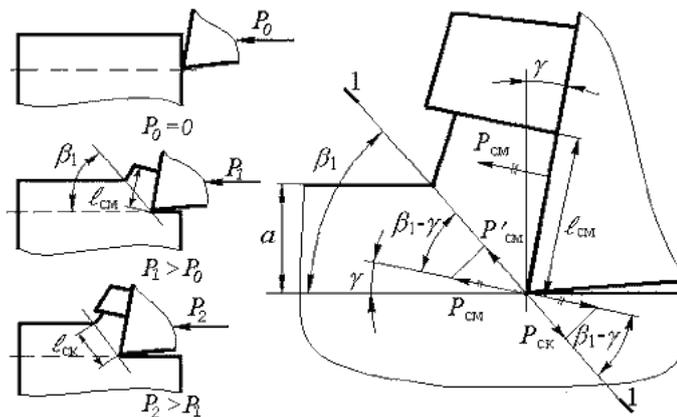


Рис. 2.10. Схема образования стружек скалывания

Элемент удерживается силой $P_{ск}$:

$$P_{ск} = \tau_{ск} \cdot f_{ск} = \tau_{ск} \cdot l_{ск} \cdot b$$

$$l_{ск} = \frac{a}{\sin \beta_1},$$

где $\tau_{ск}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг (скалывание); a – толщина среза.

Для скалывания элемента необходимо, чтобы:

$$P'_{см} = P_{см} \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) \geq P_{ск},$$

$$\sigma_{см} \cdot l_{см} \cdot b \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) = \tau_{ск} \cdot l_{см} \cdot b,$$

$$l_{ск} = \frac{\tau_{ск}}{\sigma_{см}} \cdot \frac{a}{\sin \beta_1} \cdot \frac{1}{\cos(\beta_1 - \gamma)}$$

Отсюда видно, что размеры скалываемых элементов зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины среза, величины переднего угла и угла скалывания, величина которого сильно зависит от свойств внешней среды, в которой осуществляется резание. Периодический характер образования стружки вызывает колебания силы резания, что делает процесс резания динамически неустойчивым.

Признаком стружек скалывания является наличие различных на глаз крупных элементов. Скалывание элементов не приводит к разрушению металла, стружка представляет собой прочное тело из крепко соединенных друг с другом элементов.

Сливная стружка представляет собой сплошную ленту, в которой отдельные ее элементы не вооруженным глазом трудно различимы и не просматриваются. В отличие от процесса образования стружек скалывания, в сливных стружках деформация смятия происходит одновременно со сдвигом элементов. Как только произойдет его сдвиг, на плоскости сдвига металл упрочнится и элемент остановится, прекратит свое движение по плоскости скалывания. При остановке он снова сминается движущимся инструментом, площадка смятия у основания элемента увеличивается, сила $P_{см}$ становится больше $P_{ск}$ и элемент вновь сдвигается. И так происходит в течение всего времени образования стружки. Процесс образования стружки здесь не заканчивается в зоне сдвига. При образовании сливных стружек процесс формирования их продолжается в течение всего времени движения по передней поверхности режущего инструмента.

При резании хрупких металлов образуются стружки надлома. Резец, внедряясь в металл, не сдвигает его, а сжимает и вырывает сжатый надломленный элемент. Разрушение идет по поверхности, произвольно охватывающей напряженную зону, поэтому обработанная поверхность получается неровной.

Деформации при резании пластичных материалов.

В связи с тем, что при механической обработке весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации, форма и размеры срезаемого слоя изменяются. Ширина среза остается неизменной, а толщина стружки увеличивается по сравнению с толщиной среза. Поскольку объем стружки равен объему срезанного слоя, ширина стружки равна ширине

среза, а толщина стружки больше толщины среза, естественно, должно произойти уменьшение длины стружки по сравнению с длиной срезанного слоя. Это явление уменьшения длины стружки по сравнению с длиной поверхности, по которой она срезана, называется усадкой.

Количественно усадка оценивается коэффициентом усадки стружки, который отражает величину пластической деформации, имевшей место при резании. Поэтому при исследовании влияния какого-либо фактора на процесс резания часто прибегают к оценке этого влияния по изменению величины коэффициента усадки стружки.

Явление усадки стружки поясняется схемой на рис. 2.11. На схеме показано уменьшение длины стружки $l_{стр}$ по сравнению с длиной среза l_0 . Ширина стружки не изменяется, лишь на прирезцовой ее стороне имеет место уширение тонкого прирезцового слоя. Этим уширением можно пренебречь, поскольку оно не распространяется на всю толщину стружки.

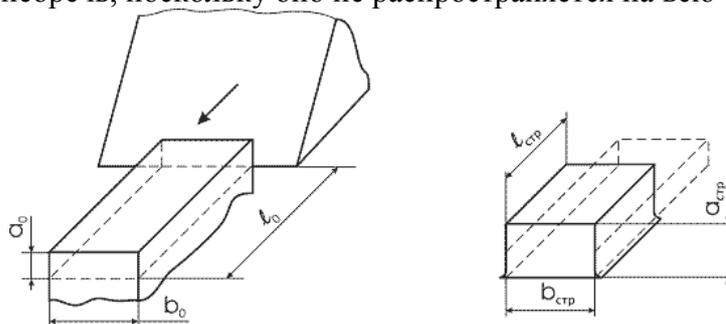


Рис. 2.11. Усадка стружки.

Уменьшение длины стружки называется продольной усадкой, увеличение толщины стружки – поперечной усадкой. Соответственно и коэффициенты усадки называются коэффициентами продольной и поперечной усадки стружки. Количественно эти коэффициенты равны между собой.

Поскольку объем стружки равен объему срезанного слоя, можно записать, что:

$$a_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot b_{стр} \cdot l_{стр}; b_0 = b_{стр},$$

поэтому:

$$a_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot l_{стр}; l_0 / l_{стр} = a_{стр} / a_0,$$

но $l_0 / l_{стр}$ – это коэффициент продольной усадки $K = l_0 / l_{стр}$, $a_{стр} / a_0$ – коэффициент поперечной усадки $K_a = a_{стр} / a_0$. Следовательно: $K_l = K_a = K$.

Величина коэффициента усадки стружки зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего лезвия инструмента, свойств внешней среды, в которой осуществляется резание, и других факторов. Из элементов режима резания менее всего на усадку, величину коэффициента усадки, влияет глубина резания, сильнее – подача и наиболее сильно скорость резания: с увеличением скорости усадка уменьшается. При резании углеродистых сталей коэффициент усадки стружки находится в пределах 2 – 3. При резании трудно обрабатываемых материалов, таких как жаропрочные и титановые сплавы, коррозионностойкие стали и другие, иногда наблюдается «отрицательная» усадка, при которой толщина стружки меньше толщины срезанного слоя.

Упрочнение металла. Нарост. Деформации.

При резании металлов срезанный слой в результате пластического деформирования приобретает повышенную физическую активность и, будучи плотно прижатым силами нормального давления к передней поверхности режущего инструмента, схватывается (сваривается) с ней.

Схватыванию обрабатываемого материала с материалом инструмента способствуют высокая температура в зоне резания и то обстоятельство, что при резании в контакт вступают вновь образованные ювенильные физико-химически чистые, свободные от каких-либо пленок поверхности. Первоначально на поверхности контакта стружки с передней поверхностью происходят точечные контакты с образованием налипков на передней поверхности. С течением времени число таких налипков растет и они покрывают площадь контакта сплошной тонкой пленкой из обрабатываемого материала, которая называется первослоем. Поскольку

этот первослой обладает абсолютным средством с обрабатываемым материалом, акты схватывания между ними происходят чаще и интенсивнее с образованием более крупных наслоений. Схватывание и наслаивание микрообъемов обрабатываемого металла на переднюю поверхность инструмента приводит к образованию на ней слоя упрочненного микролегированного материала, прочно соединенного с инструментом. Процессы периодического схватывания и последовательного наслаивания упрочненного материала стружки повторяются многократно, в результате на передней поверхности образуется новое довольно крупное тело, называемое наростом.

Из представленной на рис. 2.12. фотографии хорошо видно ярко выраженное слоистое строение нароста. Форма нароста зависит от свойств обрабатываемого материала, элементов режима резания и других конкретных условий обработки. Нарост состоит из основания и вершины. Вершина является неустойчивой частью нароста, она, по мере увеличения высоты нароста, разрушается и уносится из зоны стружкообразования, сходящей по ней стружкой или поверхностью резания обрабатываемой заготовки.

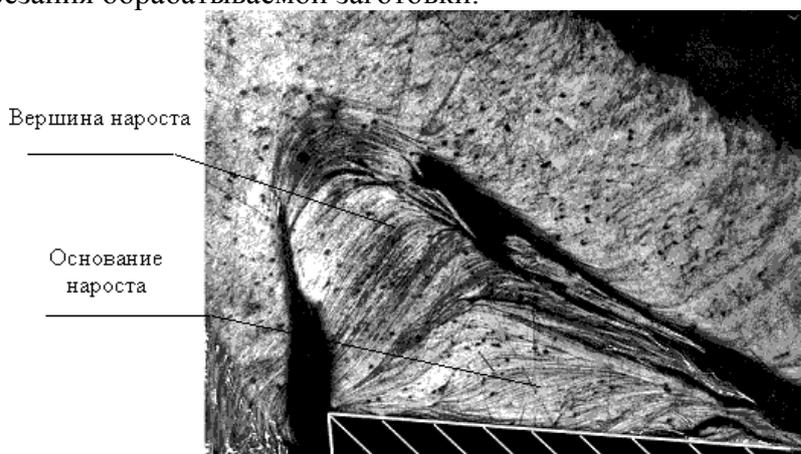
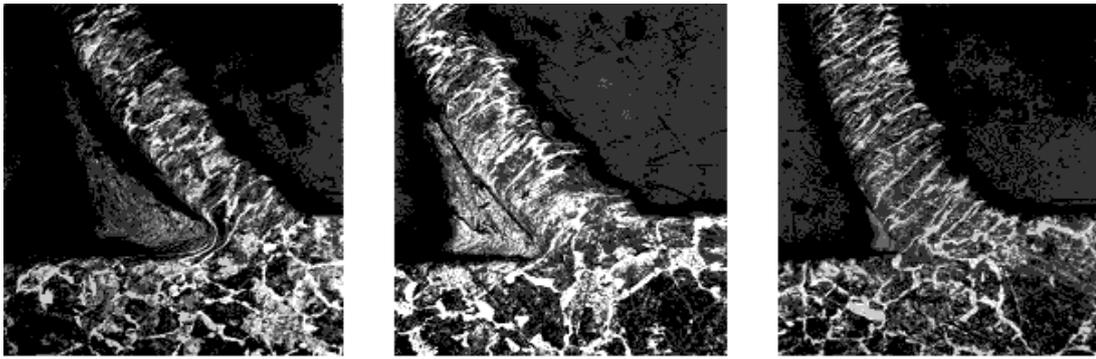


Рис. 2.12. Строение нароста

Из параметров режима резания на интенсивность образования, размеры и форму нароста наиболее сильно влияет скорость резания. На очень малых скоростях резания нарост не удерживается на передней поверхности инструмента, из-за мелко-элементарной сыпучей стружки с увеличением скорости интенсивность образования нароста возрастает лишь до какого-то значения скорости, после которого интенсивность его образования и размеры начинают уменьшаться. На рис. 2.13. представлены корни стружки, полученные, при точении стали 45 с разными скоростями резания.

Здесь видно, что скорость резания сильно влияет на размеры и форму нароста. Нарост наибольшей высоты образуется на скорости 13 м/мин. На скорости 28 м/мин. образуется нарост меньшей высоты и другой формы. На сравнительно большой скорости резания 55 м/мин. нароста уже почти нет. Можно предположить, что на такой скорости температура в зоне резания выше температуры «отдыха» обрабатываемого материала, под влиянием которой материал нароста разупрочняется и не может противостоять истирающему действию обрабатываемого материала.

Поскольку нарост образуется из сильно деформированного металла, твердость которого намного больше твердости исходного обрабатываемого, то и нарост в целом имеет высокую твердость, в 2...3 раза превосходящую твердость обрабатываемого материала. Наличие высокой твердости позволяет наросту успешно противостоять воздействию стружки и выполнять работу самого режущего инструмента. Он служит продолжением инструмента и принимает на себя его функции. Химический и микроструктурный анализы нароста показали, что в составе нароста задерживается наиболее сильно упрочняющаяся перлитная структурная составляющая обрабатываемого материала, которая и обеспечивает высокую твердость нароста.



а. б. в.
Рис. 2.13. Корни стружки с наростом, полученные при точении, стали 45.
Скорость резания: а – 13 м/мин, б – 28 м/мин и в – 55 м/мин.

Нарост на режущем инструменте образуется не всегда, а только в тех случаях, когда условия резания благоприятствуют этому. Необходимыми условиями существования нароста являются следующие:

Обрабатываемый материал должен обладать способностью упрочняться при пластическом деформировании.

Температура в зоне резания должна быть ниже той температуры, при которой происходит разупрочнение материала нароста.

Должна образовываться сливная стружка. При образовании стружек скалывания нарост не удерживается на передней поверхности вследствие прерывистости процесса резания.

Коэффициент трения в зоне контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью должен быть больше единицы.

Если условия для существования нароста вполне подходящие, нарост образуется и существенно влияет на параметры процесса резания и состояние обработанной поверхности (рис. 2.14). Образование нароста изменяет фактическую геометрию инструмента, передний угол увеличивается и становится больше переднего угла, приданного инструменту при его заточке ($\gamma_{\phi} > \gamma_3$). Процесс резания происходит легче. Поверхность нароста, обращенная к стружке, становится продолжением передней поверхности инструмента. Изменение фактического угла резания вызывает изменение характера процесса образования стружки.

В случае свешивания вершины нароста над задней поверхностью инструмента изменяется фактическая толщина среза. Фактически толщина среза $a_{\phi} = a_0 + \Delta a$. Сказанное, иллюстрируется, представленной на рис. 2.14. схемой зоны резания с наростом и иллюстрируется представленной на рис. 2.15. фотографией нароста, полученного, при резании коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т. На ней случайно, но очень удачно запечатлен момент разрушения вершины нароста, которая уносится из зоны образования стружки с поверхностью резания.

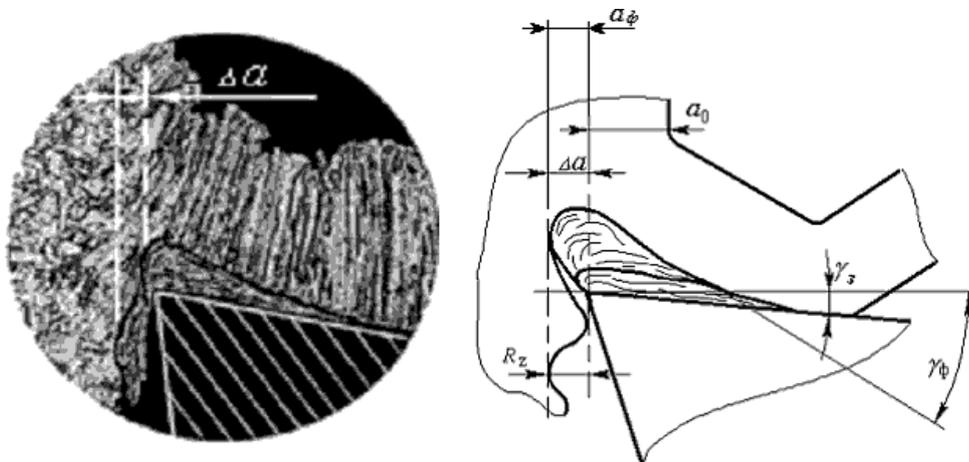


Рис. 2.14. Влияние нароста на величину переднего угла, толщину среза и шероховатость поверхности резания.

Здесь надо обратить внимание на изменение положения плоскости скалывания. Вслед за разрушением нароста уменьшается угол скалывания β_1 и увеличивается толщина образующейся стружки. Нарост представляет собой тело твердое, но неустойчивое, он периодически разрушается, и фактическая толщина среза постоянно меняется вслед за изменением размера нароста. По этой причине обработанная поверхность получается неровной, со следами надиров и вырывов. Располагаясь на передней поверхности и свешиваясь над задней поверхностью, нарост закрывает главную режущую кромку и предохраняет ее от разрушения.

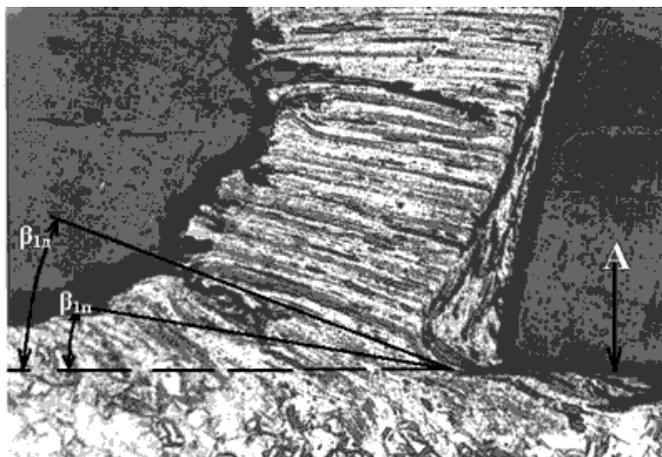


Рис. 2.15. Корень стружки с разрушающимся наростом: А – часть вершины нароста на поверхности резания; $\beta_{1д}$ – угол скалывания до разрушения нароста; $\beta_{1н}$ – угол скалывания после разрушения нароста

В некоторых случаях нарост бывает настолько устойчив, что в течение всего периода резания исключает контакт стружки с передней поверхностью инструмента. Так на рис. 2.16 представлены фотографии быстрорежущего проходного упорного резца с наростом и после его удаления.

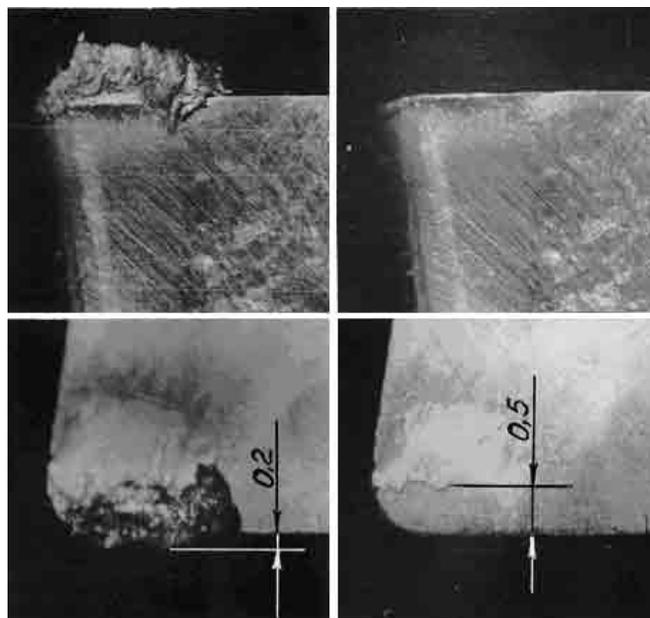


Рис. 2.16. Фотографии проходного упорного резца со стороны главной задней поверхности (вверху) и со стороны передней поверхности (внизу), с наростом (слева) и после его удаления (справа).

После удаления нароста на передней поверхности резца «под наростом» обнаружались следы доводки передней поверхности порошком карбида бора. Эти следы в виде мелких царапин стертые за пределами нароста, свидетельствуют о том, что нарост надежно защищал переднюю поверхность от действия стружки в течении всего времени резания.

Образование нароста, защищающего режущий инструмент от изнашивания, в этом смысле следовало бы признать полезным явлением. Однако, несмотря на это, явление образования нароста следует признать нежелательным, как неуправляемое.

Кроме образования нароста при срезании стружки происходит деформация материала под поверхностью резания. Обрабатываемый материал здесь подвергается упругопластической деформации. Это происходит по двум причинам. Во-первых, потому, что режущее лезвие всегда имеет какое-то округление радиусом ρ (рис. 2.17).

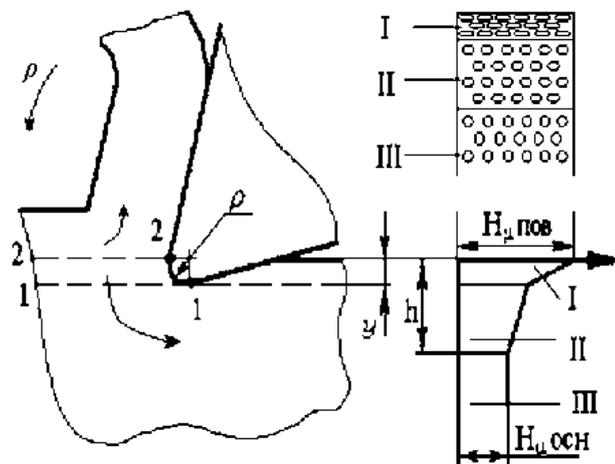


Рис. 2.17. Деформация и упругое последствие в зоне резания

По этой причине разделение металла происходит не по линии 1–1, а по линии 2–2. Металл под линией 2–2 проволочивается под округленной частью режущего лезвия и пластически деформируется. Во-вторых, поскольку пластической деформации предшествует упругая деформация, восстанавливающаяся после прохождения инструмента, имеет место подъем поверхности резания на величину упругого последствия « y ». Прижатый к задней поверхности материал трется об нее и еще раз пластически деформируется. В силу этих причин материал под поверхностью резания оказывается пластически деформированным, в нем появляются остаточные напряжения, уравнивающиеся внутри объема металла под поверхностью резания.

Верхние слои металла оказываются сильно разрушенными. Анализ состояния металла под поверхностью резания (см. рис. 2.17) показывает, что там обнаруживаются 3 зоны:

- I – зона больших пластических деформаций;
- II – зона наклепанного металла; I
- III – зона исходного металла.

Состояние материала под поверхностью резания в целом оценивается: 1-глубиной проникновения пластической деформации h и степенью упрочнения его поверхностных слоев C . Степенью упрочнения называется отношение твердости упрочненного поверхностного слоя к твердости основного (недеформированного) металла:

$$C = \frac{H_{\text{поверхности}}}{H_{\text{основы}}}$$

Степень упрочнения и глубина деформации зависят от толщины среза, скорости резания, геометрии режущего инструмента, свойств обрабатываемого материала и других факторов.

Источники и распределение теплоты в зоне резания.

Процесс резания металлов сопровождается значительным тепловыделением в результате того, что механическая работа резания переходит в тепловую энергию. Основными источниками возникновения тепла в зоне резания являются: внутреннее трение между частицами срезаемого слоя в результате его пластической деформации при образовании стружки (Q_1); трение стружки о переднюю поверхность инструмента (Q_2); трение поверхности резания и обработанной поверхности по задним поверхностям инструмента (Q_3). Схема расположения источников тепла в зоне резания представлена на рис. 2.18.

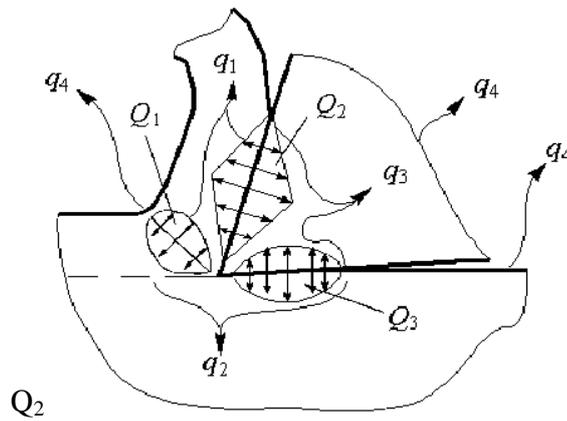


Рис. 2.18. Источники тепла в зоне резания.

Наиболее интенсивное выделение тепла происходит в области стружкообразования, прилегающей к плоскости скалывания 1—1 в этой области теплота выделяется в результате двух одновременно протекающих процессов: во-первых, в результате пластической деформации сдвига элементов образующейся стружки по плоскости скалывания; во-вторых, в результате пластической деформации сжатия и частично пластической деформации смятия тонкого слоя металла примыкающего к плоскости скалывания со стороны срезаемого слоя припуска. Этот слой показан на рис.2.19. и выделен штриховкой.

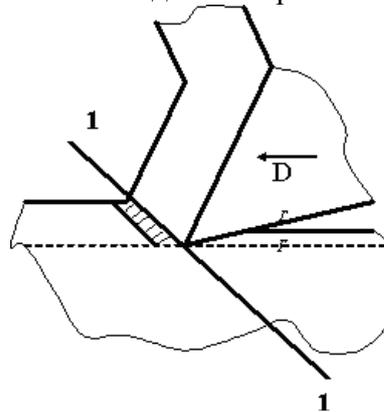


Рис. 2.19. Слой упруго-пластической деформации впереди зоны стружкообразования перед плоскостью скалывания 1—1

Упругая деформация всегда предшествует пластической деформации и потому имеет место и при пластической деформации срезаемого слоя при резании металлов. Пластическая деформация в этом слое обнаруживается путем измерения микротвердости и существует по той же причине, что и деформация материала под поверхностью резания и под обработанной поверхностью. Возможно количество тепла, выделяющегося в результате упругой деформации невелико, но предполагать вероятность этого процесса и учитывать его существование необходимо.

Общее количество выделяющегося при резании тепла равно сумме тепла, выделившегося во всех перечисленных выше источниках: $Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$.

Тепло, образующееся в процессе резания, не аккумулируется в местах его образования, а распространяется от точек с более высокой температурой к точкам с низкой температурой. Из зоны резания тепло уносится со стружкой (q_1), передается в заготовку (q_2) и инструмент (q_3) и распространяется в окружающую среду (q_4). Тепловой баланс процесса резания может быть выражен уравнением: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$.

Соотношение количества тепла, отводимого со стружкой в деталь, в инструмент и окружающую среду, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и внешних условий, в которых осуществляется резание.



Рис. 2.20. Зависимость образования и распределения теплоты, от скорости резания.

В начале обработки температура в зоне резания растет до какого-то определенного значения и устанавливается постоянной, соответствующей стационарному тепловому режиму, при котором выделение тепла равняется отводу его по перечисленным направлениям. Для практических целей наибольший интерес представляет температура рабочей части инструмента и обрабатываемой заготовки. Тепло, переходящее в заготовку, увеличивает ее температуру и вызывает температурное изменение ее размеров и коробление, подчас являющееся причинами брака.

Теплота, переходящая в инструмент, при всей своей относительной незначительности, концентрируясь в малых объемах материала инструмента, вызывает сильный разогрев его в этих объемах и снижение режущих свойств и износоустойчивости инструмента. С увеличением скорости резания доля тепла, переходящего в инструмент, уменьшается, но абсолютное его количество возрастает и температура в зоне резания увеличивается до значений, близких к температуре красностойкости металла инструмента.

Методы измерения температуры в зоне резания.

Существует несколько методов измерения температуры в зоне резания. Калориметрический метод (рис. 2.21) заключается в том, что стружка собирается в калориметре с водой. Зная количество воды в калориметре, вес стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки по разности температуры воды в калориметре до, и после резания.

$$\theta_{стр} = \theta_{см} + \frac{G_{воды} \cdot (\theta_{смес} - \theta_{воды})}{G_{стр} \cdot G_{воды}}$$

где: $\theta_{стр}$ – средняя температура стружки; $\theta_{см}$ – температура смеси воды и стружки в калориметре; $G_{воды}$ – вес воды в калориметре; $G_{стр}$ – вес стружки в калориметре.

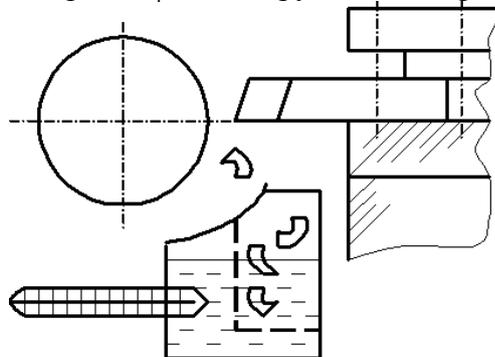


Рис. 2.21. Схема измерения температуры калориметрическим методом.

Температуру поверхности инструмента за пределами зоны его контакта с обрабатываемым изделием или стружкой можно определить с помощью термочувствительных красок, которые изменяют свой цвет при нагревании до определенной температуры.

Метод измерения температуры с помощью термопар является наиболее удобным и более широко применяется в современных исследованиях. Метод измерения естественной термопарой (рис. 2.22) наиболее прост по осуществлению, но для получения абсолютных значений температур требует проведения очень трудоемкой операции градуирования термопары «инструмент – обрабатываемый материал».

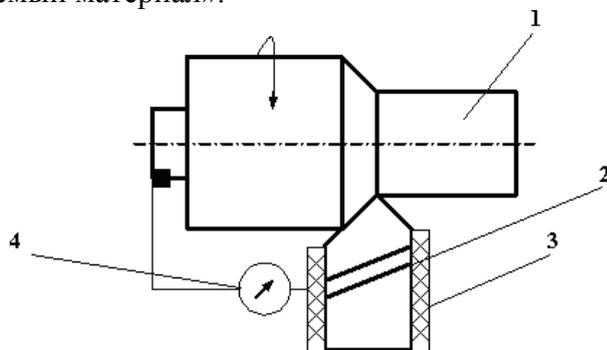


Рис.2.22. Схема измерения температуры в зоне резания методом естественной термопары:
1 – обрабатываемая заготовка; 2 – резец; 3 – изоляция; 4 – милливольтметр

Для наблюдения за изменением температуры контактных слоев стружки при перемещении ее по длине контакта может применяться «бегущая термопара». Суть этого метода заключается в том, что в заготовку заделываются термопары, которые при перерезании их режущим лезвием инструмента образуют слой термопары, скользящий (бегущей) по передней и задней поверхностям. Схема метода представлена на рис. 2.23.

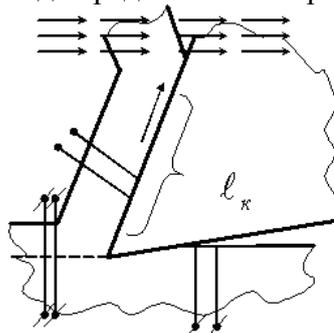


Рис. 2.23. Схема измерения температуры на передней и задней поверхностях инструмента методом бегущей термопары.

Разновидностью метода естественной термопары является «метод двух резцов» (рис. 2.24), который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов. Этот метод позволяет исключить мучительный процесс градуирования термопары для каждого вида обрабатываемого материала; термопара градуируется один раз, и полученная градуировочная кривая используется для всех обрабатываемых материалов.

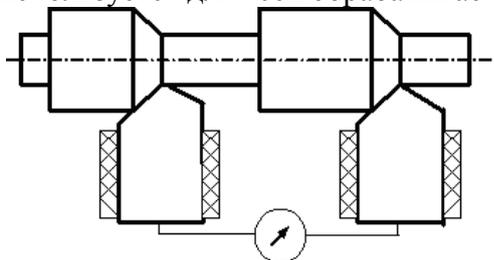


Рис.2.24. Схема измерения термопары методом «двух резцов»

Температурное поле после реза.

Измерениями установлено, что теплота в зоне резания распределяется неравномерно. Наибольшая температура действует на передней поверхности при удалении от главной режущей кромки на $1/3$ длины контакта стружки с передней поверхностью. Совокупность мгновенных значений температуры в различных точках зоны резания называется темпера-

турным полем. Температурное поле дает наиболее яркую и полную картину температурной обстановки в зоне резания.

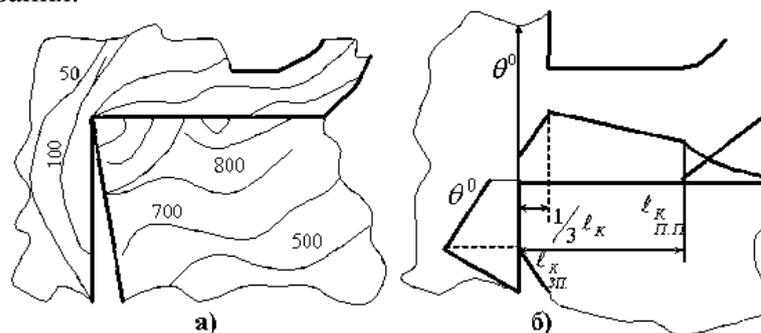


Рис. 2.25. Температурное поле (а) и распределение температуры в зоне резания (б).

Зависимость температуры от элементов режима резания.

Многочисленные исследования зависимости температуры от различных факторов показывают, что температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и многих других условий. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет подача, а влияние глубины резания почти не обнаруживается. Из геометрических параметров режущей части инструмента наиболее сильно на температуру резания влияют передний угол, главный угол в плане и радиус закругления при вершине, сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок на вершине режущего лезвия инструмента.

Различными исследованиями предложен ряд аналитических и эмпирических формул для расчета температуры в зоне резания. Аналитические формулы сложны и включают в себя большое число не всегда известных величин. Эмпирические же формулы просты, но справедливы лишь в пределах условий проведения эксперимента. Структура эмпирических формул зависит от числа учтенных факторов, оказывающих какое-либо влияние на величину температуры в зоне резания. Наиболее общими являются формулы вида:

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{x_{\theta}} \cdot s^{y_{\theta}} \cdot v^{z_{\theta}},$$

где: θ – температура в зоне резания, °С; t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об; v – скорость резания, м/мин; C_{θ} – константа, учитывающая условия резания; x_{θ} , y_{θ} , z_{θ} – показатели степени, показывающие степень влияния каждого элемента режима резания на температуру в зоне резания.

Наиболее часто величина показателей степени для каждого из элементов режима резания находится в пределах: $x_{\theta} = 0,1 \dots 0,2$; $y_{\theta} = 0,2 \dots 0,25$; $z_{\theta} = 0,4 \dots 0,6$.

Это показывает, что наиболее сильно на температуру в зоне резания влияет скорость резания, слабее влияет подача, а глубина резания не оказывает на нее существенного влияния. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания пропорционально ей увеличивается длина рабочего участка главной режущей кромки, и напряженность процесса резания не изменяется, остается прежней.

Износ режущего инструмента. Общие положения.

Режущий инструмент в процессе резания воздействует на обрабатываемый материал и вызывает образование стружки и формирование новой поверхности, однако сам при этом подвергается воздействию со стороны обрабатываемого материала и интенсивно изнашивается. Режущие инструменты работают в чрезвычайно тяжелых условиях действия громадных давлений на поверхностях контакта и высокой температуры, в условиях трения чистых, вновь образованных ювенильных поверхностей. По этим причинам интенсивность изнашивания режущих инструментов в тысячи и десятки тысяч раз превосходит интенсивность изнашивания трущихся деталей машин. Так, согласно результатам проведенных в Грузинском Политехническом Институте исследований износ трущихся поверхностей деталей машин, например шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, до предельно допустимой величины происходит после пути трения $10^6 \dots 10^9$ метров, а износ режущих инструментов до установленной нормативной величины износа, наблюдается уже после пути трения

всего лишь $10^3 \dots 10^4$ метров. Путь трения при резании легко определяется умножением скорости резания (м/мин) на величину стойкости (мин). Так, например, при скорости резания 100 м/мин и нормативной стойкости 30 мин, путь, пройденный режущим инструментом по поверхности резания, составит: $h_{PE3} = 100 \text{ м/мин} \cdot 30 \text{ мин} = 3000 \text{ м}$ что подтверждает сказанное выше сравнение интенсивности изнашивания трущихся деталей машин и режущих инструментов.

В результате изнашивания режущее лезвие инструмента теряет свою первоначальную форму и, как следствие, режущую способность. Для восстановления режущей способности инструмента производится затачивание его рабочих поверхностей. В процессе затачивания инструмента с его рабочей части срезаются довольно большие слои дорогостоящего инструментального материала. Кроме того, на смену затупившегося инструмента затрачивается время, которое увеличивает продолжительность операции механической обработки, а следовательно и ее стоимость; срезаемый при затачивании абразивным инструментом дорогостоящий инструментальный материал переводится в шлам и безвозвратно теряется. В целом все это существенно удорожает механическую обработку и ограничивает ее эффективность. Поэтому, задача уменьшения интенсивности изнашивания режущих инструментов и увеличения срока его службы была и остается одной из главных задач металлообработки.

Характер и виды износа инструментов.

Характер износа режущего инструмента, то есть распределение его по рабочим поверхностям инструмента, зависит от многих конкретных условий, в которых производится резание. Износ режущего инструмента выражается в появлении лунки на передней поверхности, площадок износа на главной и вспомогательной задних поверхностях и в уменьшении вылета вершины резца или режущего лезвия иного инструмента.

Износ режущего инструмента только по задней поверхности наблюдается при обработке хрупких материалов, при резании которых образуется стружка надлома, не представляющая собой сплошного прочного тела. Износ по задней поверхности является также преобладающим в случае резания с малыми толщинами среза, при малых значениях задних углов и при обработке сталей и сплавов, обладающих ярко выраженным упругим последствием и сильным обработочным упрочнением.

Износ режущего инструмента только по передней поверхности происходит в случае обработки вязких металлов с большими сечениями среза, когда образуется устойчивый нарост, исключаяющий контакт задней поверхности с обрабатываемым материалом. В большинстве же случаев практики резания металлов инструмент изнашивается как по передней, так и по обеим задним поверхностям (рис. 2.27 и рис. 2.28).

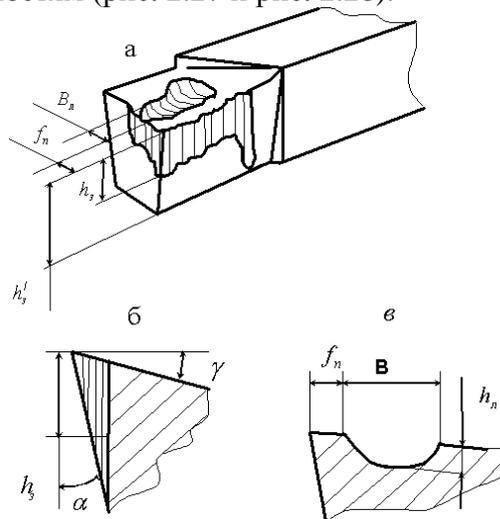


Рис. 2.26. Распределение износа по поверхностям инструмента: а – общий вид режущей части инструмента со следами износа; б – износ по задней поверхности; в – износ по передней поверхности.

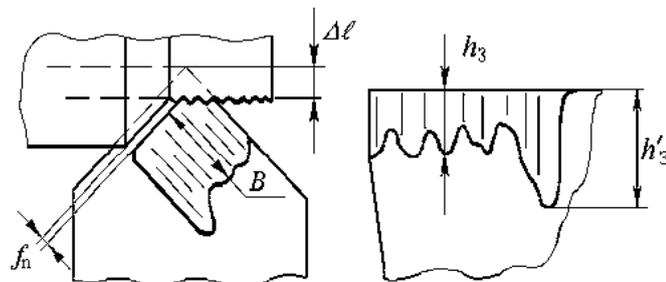


Рис. 2.27. Параметры изнашивающегося инструмента.

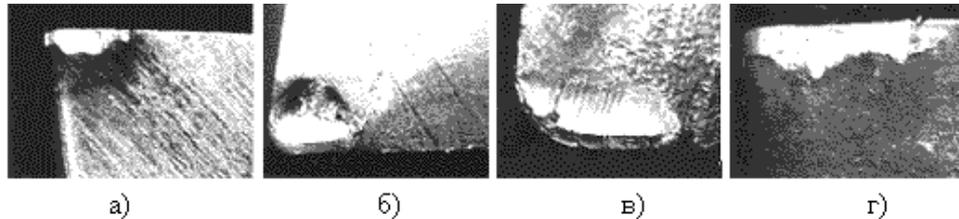


Рис. 2.28. Износ резцов из быстрорежущей стали P18 при точении стали 40X: (а) по задней, (б) передней поверхностям; твердого сплава VK8 при точении коррозионно-стойкой стали: (в) по задней, (г) передней поверхностям.

Изнашивание передней поверхности происходит, как правило, на некотором удалении от главной режущей кромки. Образующаяся лунка с течением времени работы резца углубляется и незначительно расширяется в сторону от режущей кромки. Износ инструмента полностью характеризуется указанными ниже параметрами.

Ширина фаски на задней поверхности h_3 , исключая период начального изнашивания, растет пропорционально времени резания. Ширина лунки B изменяется очень мало, а ширина полки f_n на передней поверхности уменьшается. Установлено, что работоспособность режущего инструмента в значительной мере определяется наличием полки на его передней поверхности. Разрушение ее приводит к потере режущей способности инструмента и его катастрофическому разрушению – посадке. На рис. 2.29 показаны наиболее характерные зависимости величины износа резца из быстрорежущей стали от времени резания при точении стали 40X.

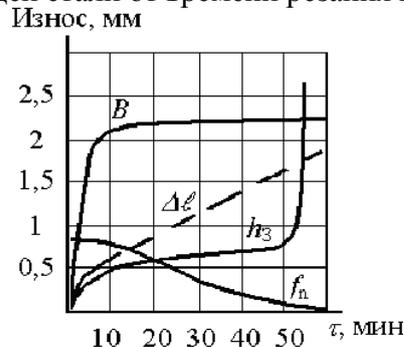


Рис. 2.29. Характерные зависимости износа режущего инструмента от времени резания. Глубина резания – 1,5 мм, подача – 0,25 мм/об, скорость резания – 35 м/мин.

Критериями затупления инструмента и необходимости его переточки наряду с указанными также могут быть: ухудшение качества обработанной поверхности, образованию фаски износа на задней поверхности инструмента, появление на ней светлых полос, вибрации, увеличение потребляемой мощности и другие.

Обычно за критерий затупления принимается величина (ширина) площадки износа на задней поверхности режущего инструмента как наиболее легко обнаруживаемая и измеряемая.

При выполнении различных исследований или оценке эффективности какого-либо технического мероприятия износ режущего инструмента может оцениваться в относительных единицах величиной относительного износа. Относительный износ выражается величиной износа по любому из перечисленных выше критериев, отнесенной к показателю выполненного объема работы: пройденному при заданном режиме пути резания, площади обработан-

ной поверхности, объему или весу срезанного материала. Наиболее часто относительный износ выражают отношением величины износа по задней поверхности (h_3) к величине пройденного (L) пути резания. Время работы режущего инструмента до затупления по выбранному и принятому критерию называется стойкостью, или периодом стойкости, обозначаемыми прописной буквой T латинского алфавита.

Механизм изнашивания режущего инструмента.

Рабочие поверхности режущего инструмента изнашиваются как от механического воздействия на него обрабатываемого материала, так и в результате молекулярно-термических процессов происходящих в зоне резания на поверхностях контакта инструмента с обрабатываемым материалом. Инструмент может подвергаться различным по своей природе, видам изнашивания: абразивному, адгезионному, химическому, диффузионному, электроэрозионному и другим. В процессе резания все эти виды изнашивания могут иметь место, но в зависимости от конкретных условий один из них является доминирующим, определяющим интенсивность изнашивания и стойкость режущего инструмента.

Абразивное изнашивание. Происходит по причине царапания поверхностей инструмента твердыми включениями обрабатываемого материала. Твердые включения при этом как микрорезцы скоблят поверхность инструмента.

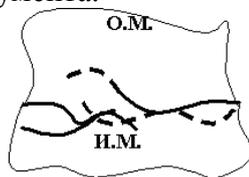


Рис. 2.30. Абразивное изнашивание: О.М – обрабатываемый материал; И.М. – инструментальный материал.

Частицы инструментального материала, вырываемые стружкой или частицы периодически разрушающегося нароста, обладающего твердостью, близкой к твердости инструментального материала, проволочиваясь по контактными поверхностям, уносят некоторый объем инструментального материала и оставляют следы в виде царапин. При резании твердым сплавом абразивный износ происходит путем выскабливания мягкой кобальтовой связки и механического вырывания твердых зерен карбидов.

При резании в химически активных средах возможен *абразивно-химический износ* в результате интенсивного образования, соскабливания и уноса образующихся мягких пленок соединений элементов среды с материалом инструмента.

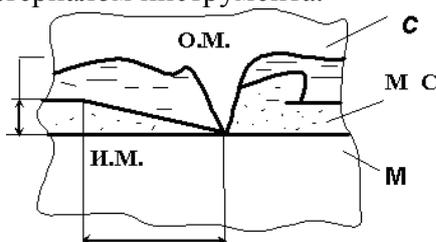


Рис. 2.31. Абразивно-химическое изнашивание: М – инструментальный материал, С – среда, M_xC_y – пленка химического соединения толщиной δ , τ – время восстановления пленки до толщины δ .

Адгезионное изнашивание. Совершается путем отрыва силами адгезии мельчайших частиц инструментального материала. Поскольку при резании на поверхностях контакта действуют колоссальные давления и в контакт приходят вновь образованные ювенильные поверхности, свободные от каких-либо пленок, создаются благоприятные условия для интенсивной адгезии контактирующих материалов. При сближении их на расстояние примерно 100 ангстрем проявляются силы молекулярного взаимодействия и образуются так называемые «мостики холодного сваривания». Разрушение может проходить как в объеме инструментального материала, так и по объему менее прочного обрабатываемого материала. В этом случае образовавшийся на поверхности инструмента налип вызывает осложнение перемещения стружки, дополнительное ее деформирование и локальное повышение температуры, которое приводит к ослаблению сил металлической связи инструментального материала.

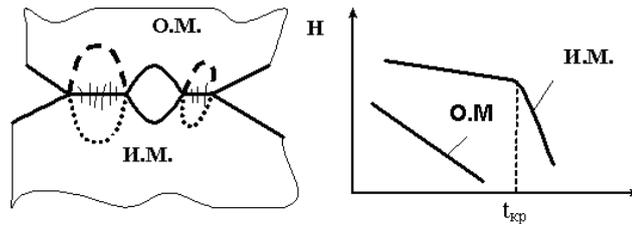


Рис. 2.32. Адгезионное изнашивание: А – мостики холодного сваривания; Б – зависимость твердости обрабатываемого (О.М.) и инструментального (И.М.) материалов от температуры; $t_{кр}$ – температура красностойкости инструментального материала

Приближенно закономерность адгезионного изнашивания выражается зависимостью:

$$v \cdot T = L = \left(\frac{H_{И.М.}}{H_{О.М.}} \right)^z$$

где $H_{И.М.}$ – твердость инструментального материала; $H_{О.М.}$ – Твердость обрабатываемого материала; L – путь, пройденный инструментом до полного затупления в течении всего периода стойкости.

Диффузионное изнашивание. При резании на высоких скоростях, когда в зоне резания развивается температура порядка 1000°C , обрабатываемый материал сильно размягчается, а соотношение твердостей $H_{И.М.}$ и $H_{О.М.}$ становится очень большим, износ режущего инструмента, однако, не только не уменьшается, но еще больше возрастает. Дело здесь в том, что при высокой температуре становится осязаемым процесс взаимного диффузионного растворения инструментального и обрабатываемого материалов. Известно, что при комнатной температуре процесс диффузии идет неощутимо медленно, но при температурах, близких к температурам плавления, скорость процесса диффузии возрастает в миллионы раз. Поскольку при резании время контакта обрабатываемого материала с инструментальным исчисляется сотыми и тысячными долями секунды, градиент концентрации постоянно велик и диффузионный износ протекает весьма интенсивно.

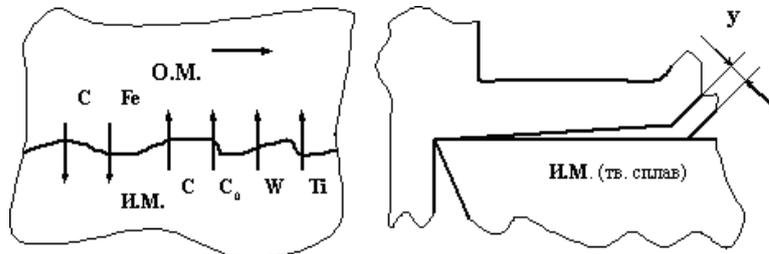


Рис. 2.33. Диффузионное изнашивание режущих инструментов. y – толщина диффузионного слоя.

Количество вещества одного компонента, выраженное в молях, продиффундировавшее в другой компонент, выражается уравнением:

$$dM = -D \frac{dC}{dx} \cdot dV \cdot dt$$

где: D – коэффициент диффузии; M – количество вещества; dC/dx – градиент концентрации; dV – площадь, через которую идет диффузия; dt – время диффузии.

$$D = A_0 e^{\frac{Q}{RT}}$$

где: A_0 – предэкспоненциальный множитель, формально равный коэффициенту диффузии при температуре, равной бесконечности; Q – энергия разрыхления, необходимая для ослабления связей между атомами кристаллической решетки до возможности их миграции; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Интенсивность диффузионного изнашивания может быть выражена толщиной диффузионного слоя, который зависит от времени и коэффициента диффузии. Зависимость эта подчиняется закону параболы:

$$y^2 = d \cdot \tau$$

где: y – толщина слоя диффузионной пленки; τ – время диффузии.

В результате диффузии в поверхностных слоях твердого сплава образуется железо-вольфрамовый карбид Fe_2W_2C , пластичная кобальтовая связка превращается в хрупкую фазу, представляющую собой двойной карбид $Co_xW_yC_z$. Охрупчивание связки твердого сплава приводит к тому, что в процессе резания наряду с диффузионным растворением происходит хрупкое разрушение материала связки и унос целых блоков зерен твердого сплава. В двухкарбидных сплавах карбиды титана, растворяясь медленнее, образуют выступы и впадины, которые заполняются материалом стружки. Время диффузии в этих условиях увеличивается, и в результате резкого уменьшения градиента концентрации, диффузия и износ уменьшаются.

Электроэрозионное изнашивание. Происходит в результате действия электрического тока, образующегося под влиянием термоэлектродвижущей силы (ТЭДС). В связи с тем, что инструмент и обрабатываемый материал контактируют в отдельных точках с разной температурой, в каждой точке действует ТЭДС разной величины. В результате в зоне резания образуется сложная система электрических цепей (контуров), при разрыве которых происходит перенос капли одного из материалов на поверхность другого в зависимости от знака заряда поверхности. При переносе капли обрабатываемого материала на поверхность инструмента она приваривается к поверхности инструмента и образует порог, который выламывается вместе с объемом инструментального материала. Кроме того твердая затвердевшая капля проволочиваясь между обрабатываемым материалом и инструментом царапает поверхность последнего и усиливает абразивное изнашивание. Такой механизм изнашивания, надо полагать, значительно усиливает изнашивание твердосплавных инструментов, работающих при больших скоростях резания, при которых в зоне резания развиваются ТЭДС до нескольких десятков милливольт, а температура находится в пределах $1000^\circ C$. Твердая частица в этом случае легко выскабливает размягченную и выдавленную на поверхность кобальтовую связку, недостаток которой ослабляет соединение твердых карбидных зерен твердого сплава. Выкрашивание их приводит к лавинообразному развитию изнашивания инструмента.

Зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания и причины ее немонотонности.

Многочисленными исследованиями, проведенными к настоящему времени, установлено, что зависимость стойкости от скорости резания носит экстремальный характер. При обработке разных материалов эта зависимость имеет различный вид. Наиболее типичной является зависимость с двумя максимальными значениями стойкости при разных скоростях резания. Такая зависимость показана на рис. 2.34. Здесь стойкость T имеет максимальные значения при скоростях резания v_1 и v_3 .

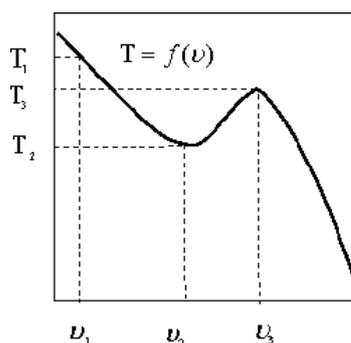


Рис. 2.34. Зависимость стойкости T режущего инструмента от скорости резания v в широком диапазоне ее изменения ($v_1 < v_2 < v_3$).

Несмотря на богатый экспериментальный опыт многочисленных $v_1 < v_2$ стойкостных испытаний, причины такой немонотонной зависимости $T = f(v)$ оставались не вполне ясными в течение длительного времени.

В настоящее время существование «переломов» на кривых зависимости стойкости от скорости резания объясняется изменением природы и интенсивности преобладающего вида износа. Как было отмечено выше, наиболее типичной для резания металлов является зависимость с двумя максимумами стойкости. Эти максимумы стойкости в зависимости от свойств инструментального и обрабатываемого материалов могут смещаться в сторону больших или

меньших скоростей. Экстремальный характер зависимости $T-v$ обусловлен наличием адгезионного и диффузионного процессов изнашивания и изменением их интенсивности при изменении скорости и температуры резания. Только эти два вида изнашивания конкурируют между собой по интенсивности и преобладанию. Интенсивность других видов изнашивания (абразивно-механического, электроэрозионного и др.) слабо зависит от температуры и, следовательно от скорости резания. Поэтому относительный износ Δ (износ приходящийся на единицу пути резания) можно представить как сумму адгезионного Δ_A и диффузионного Δ_D изнашивания.

$$\Delta = \Delta_A + \Delta_D$$

При увеличении скорости резания от v_1 до v_2 температура в зоне резания возрастет и соотношение твердостей инструментального и обрабатываемого материалов увеличится настолько, что интенсивность адгезионного изнашивания, подчиняющегося закону:

$$v \cdot T = L = \left(\frac{H_{и.м.}}{H_{о.м.}} \right)^z$$

резко снизится и относительный износ за счет этого уменьшится, и будет далее уменьшаться с ростом скорости до v_3 .

Однако, начиная со скорости v_2 , начинает проявляться диффузионное изнашивание. При дальнейшем увеличении скорости резания диффузионный износ интенсифицируется и начиная со скорости v_3 становится преобладающим. Адгезионный износ уменьшается и не играет существенной роли в интенсивности суммарного износа. Суммарный износ Δ увеличивается за счет резкого увеличения интенсивности диффузионного изнашивания. Стойкость режущего инструмента при этом, естественно, уменьшается. Такой приближенной схемой описывается немонотонный характер зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания.

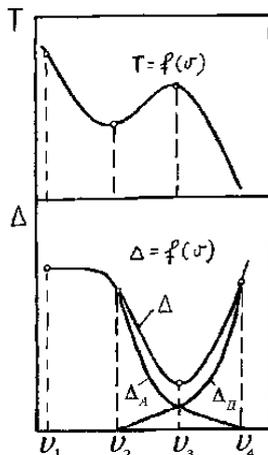


Рис. 2.35. Зависимость стойкости режущего инструмента T и его относительного износа Δ от скорости резания: Δ – суммарный относительный износ; Δ_A – доля адгезионного износа; Δ_D – доля диффузионного износа.

Безусловно, эта схема требует дальнейшей проработки и количественных оценок интенсивности того и другого видов изнашивания. Требуется количественное сопоставление Δ_A и Δ_D в различных диапазонах скоростей резания, но в настоящее время еще нет для этого необходимых экспериментальных данных, не хватает еще накопленной, экспериментальной подтвержденной, достоверной информации. Представленная схема в какой-то мере объясняет причины немонотонной зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания и определяет направление дальнейших исследований в этой области.

Основной закон стойкости.

Немонотонная зависимость $T-v$ наблюдается при изменении скорости резания в широком диапазоне. Однако, если учесть, что каждый инструментальный материал предназначен для работы в определенном диапазоне скоростей резания, свойственных этому материалу, то

можно эту зависимость для ограниченного диапазона скоростей считать и представить монотонной.

Действительно, на скоростях, свойственных резанию быстрорежущим инструментом, твердый сплав не используется, из-за низкой эффективности, а на скоростях порядка сотен метров, свойственных резанию твердосплавным инструментом, быстрорежущие инструменты не применяются из-за недостаточной температуры красностойкости быстрорежущих сталей. На таких скоростях быстрорежущие инструменты работать не могут.

Таким образом, в ограниченном диапазоне скоростей резания зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания является монотонной, графически выражающейся прямой линией в логарифмических координатах. Такая зависимость представлена на рис. 2.36. Здесь видно, что при принятых значениях скорости резания v_1, v_2, v_3 соответствующие им значения стойкости режущего инструмента будут T_1, T_2, T_3 . Эта зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания может быть представлена выражением

$$T_1^m \cdot v_1 = T_2^m \cdot v_2 = T_3^m \cdot v_3 = \text{Const},$$

$$\text{Откуда } v = \frac{C}{T^m} \text{ или } T = \sqrt[m]{\frac{C}{v}},$$

где: v – скорость резания (м/мин), соответствующая стойкости режущего инструмента T ; T – стойкость режущего инструмента, мин; C – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала; m – показатель относительной стойкости.

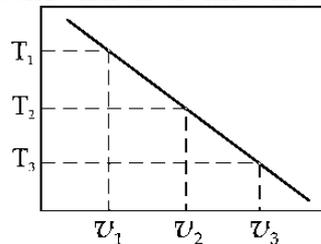


Рис.2.36 . Зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания.

Величина показателя относительной стойкости изменяется в узких пределах (от 0,15 до 0,35) в зависимости от свойств инструментального материала и вида обработки.

Представленная выше зависимость

$$T = \sqrt[m]{\frac{C}{v}}$$

называется основным законом стойкости. Эта зависимость является основной частью, а лучше сказать – основой, всех эмпирических формул, по которым производится расчет скорости резания для всех видов механической обработки металлов резанием. Оптимальной скоростью резания называется скорость, которая обеспечивает максимальную производительность при наименьшей стоимости обработки.

Формулы, по которым производится расчет этой оптимальной скорости резания для разных видов обработки резанием имеют различный вид, поскольку в них кроме основного закона стойкости входят остальные (кроме скорости резания) элементы режима резания и другие показатели, характерные для данного вида обработки. В качестве примеров ниже приведены формулы для разных видов механической обработки резанием.

$$\text{Точение: } v = \frac{C}{T^m \cdot t_x \cdot s_y} \cdot K_v$$

Здесь в формулу введены глубина резания t , подача s и коэффициент K_v , учитывающий конкретные условия резания.

$$\text{Сверление: } v = \frac{C_v \cdot D_{\text{св0}}^q}{T^m \cdot s_0^y} \cdot K_v;$$

$$\text{Фрезерование: } v = \frac{C_v \cdot D_{\text{фр}}^q}{T^m \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v.$$

В формулу для расчета скорости резки при фрезеровании введены диаметр фрезы $D_{\text{фр}}$, подача на зуб s_z , ширина фрезерования B и число зубьев фрезы z .

Основой всех этих различных по внешнему виду формул является основной закон стойкости, с него начинается написание всех формул, по которым рассчитываются величина оптимальной скорости резания для всех видов механической обработки, всех видов резания металлов.

Смазочно-охлаждающие жидкости, их подвод в зону резания и влияние на обработку.

Напряженность процесса резания, интенсивность изнашивания режущего инструмента и качество обработанной поверхности зависят от свойств той внешней среды, в которой осуществляется резание. Окружающий зону резания атмосферный воздух является активной естественной внешней средой, благотворно влияющей на процесс резания. Кислород воздуха активно участвует в образовании пленок оксидов на поверхностях инструмента и обрабатываемого материала. Эти пленки экранируют силы молекулярного взаимодействия и предотвращают адгезионное схватывание и образование мостиков холодного сваривания инструментального и обрабатываемого материалов. Резание в вакууме, без кислорода, практически невозможно, вместо образования привычного вида стружки происходит комкование срезаемого слоя металла на передней поверхности инструмента; резание происходит неустойчиво с большими колебаниями силы резания, рывками и грубой вибрацией. Для улучшения трибологической обстановки в зоне резания применяют искусственные технологические среды. Направленное изменение свойств этих сред является одним из путей управления процессом резания и изнашивания режущих инструментов. Искусственно вводимые в зону резания среды могут быть жидкими, твердыми или газообразными.

Наиболее часто в качестве внешних сред, благотворно влияющих на процесс резания и изнашивания режущих инструментов, издавна применяются различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Первые исследования влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс резания и качество обрабатываемой поверхности проведены в нашей стране в начале 20-го века. По своему составу и виду основы смазочно-охлаждающие жидкости подразделяются на три группы: масляные жидкости, водные эмульсии минеральных масел и синтетические жидкости.

Масляные СОЖ представляют собой минеральные масла, в которые добавлены антифрикционные, антиадгезионные, противозадирные и другие присадки и ингибиторы коррозии. Активными (режущими) присадками служат масла и жиры растительного и животного происхождения и вещества, содержащие фосфор, хлор, серу. Общий объем присадок в масляных СОЖ может достигать до 40%.

Водные эмульсии минеральных масел приготавливаются из воды и эмульсолов. Содержание эмульсола в воде обычно бывает от 2 до 10%, в зависимости от вида выполняемой операции и напряженности режима резания. В состав эмульсолов входят: минеральное масло, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, бактерицидные, антиизносные, антипенные и другие присадки. При смешивании эмульсола с водой образуется непрозрачная эмульсия молочно-белого цвета.

Синтетические СОЖ представляют собой водные растворы водорастворимых полимеров, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и ингибиторов коррозии.

Смазочно-охлаждающие жидкости, подаваемые в зону резания, оказывают смазочное, охлаждающее и моющее действия. Роль и значение каждого из этих действий зависят от вида операции механической обработки и свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Моющее действие СОЖ заключается в образовании на мелких частицах стружки, нароста и продуктах износа адсорбционных пленок, препятствующих их слипанию. В результате частицы легко уносятся струей СОЖ, что приводит к уменьшению абразивного износа режущего инструмента. Охлаждающее действие СОЖ проявляется, как в поглощении уже выделившейся теплоты, так и в устранении или уменьшении причин ее выделения. Уменьшение

температуры в зоне резания и охлаждение режущего инструмента способствуют сохранению режущих свойств инструмента и износостойкости инструментального материала.

Смазочное действие СОЖ заключается в образовании на трущихся поверхностях различных по своей физико-химической природе пленок, уменьшающих силы трения и износ контактирующих поверхностей путем предотвращения или ограничения явлений адгезии и схватывания обрабатываемого материала с материалом режущего инструмента. В настоящее время мнение большинства исследователей склоняется к тому, что смазочное действие СОЖ является их основным и наиболее значимым действием во всем возможном диапазоне скоростей и температуры резания.

Работами академика П.А. Ребиндера и его школы установлено, что совместно с внешнесмазочным действием адсорбционных пленок смазочно-охлаждающие жидкости в определенных условиях могут оказывать «внутреннее смазочное действие». Поверхностно-активные вещества, входящие в состав смазочно-охлаждающих жидкостей, проникают в зону деформации по плоскостям скольжения в отдельных зернах обрабатываемого металла и тем самым облегчают процесс пластической деформации срезаемого слоя. Продукты распада адсорбированных поверхностно-активных веществ внедряются в кристаллическую решетку наиболее деформированных зерен металла, переводя его в более хрупкое состояние. Такое охрупчивание приводит к уменьшению величины предельной пластической деформации срезаемого слоя перед разрушением и уменьшению работы резания.

Смазочно-охлаждающие жидкости в зону резания и влияние на обработку.

Проявление благотворного влияния технологических сред на процесс резания и изнашивания режущего инструмента возможно лишь при условии проникновения их на поверхности контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. При низких скоростях резания контакт режущего инструмента и обрабатываемого материала не сплошной и вся зона его испещрена мельчайшими порами – капиллярами размером от долей микрометра до нескольких их десятков. Периодическое торможение и остановка отдельных объемов срезаемого слоя металла на поверхности инструмента вызывают образование вакуумных полостей, способствующих проникновению смазочной жидкости или иной технологической среды в зону резания и образованию смазочных слоев на поверхностях контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Сказанное иллюстрируется микрофотографией корня стружки на рис. 2.37., полученной при точении коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т резцом из быстрорежущей стали Р18.



Рис. 2.37. Микрофотография корня стружки скалывания, полученного при точении стали 12Х18Н10Т.

Изучим фотографию с новой позиции оценки возможности проникновения среды в зону резания и на поверхности контакта инструмента с обрабатываемым материалом. Здесь видно, что отдельные элементы типичной стружки скалывания разделены между собой капиллярами, насквозь пронизывающими стружку на всю ее толщину, с прирезцово

стружки рядом с каждым элементом видны вакуумные полости, ширина которых составляет примерно треть – четвертую часть ширины основания элемента стружки. При образовании сливной стружки отдельные элементы ее слабо различимы, но капилляры в ней видны достаточно четко, например, на фотографии рис. 2.38. Вакуумные полости образуются также в результате частичного разрушения нароста.

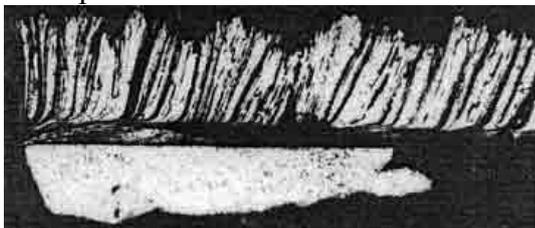


Рис. 2.38. Микрофотография сливной стружки стали 12X18H10T.

Справа от основания нароста видна часть вершины нароста. Между основанием нароста, в передней его части, и обрабатываемым материалом образовалась вакуумная полость.

На рис. 2.39а и 2.39б представлены микрофотографии корней стружки с наростом. Здесь видны вакуумные полости, образовавшиеся при отрыве или разрушении части вершины нароста сходящей по нему стружкой.

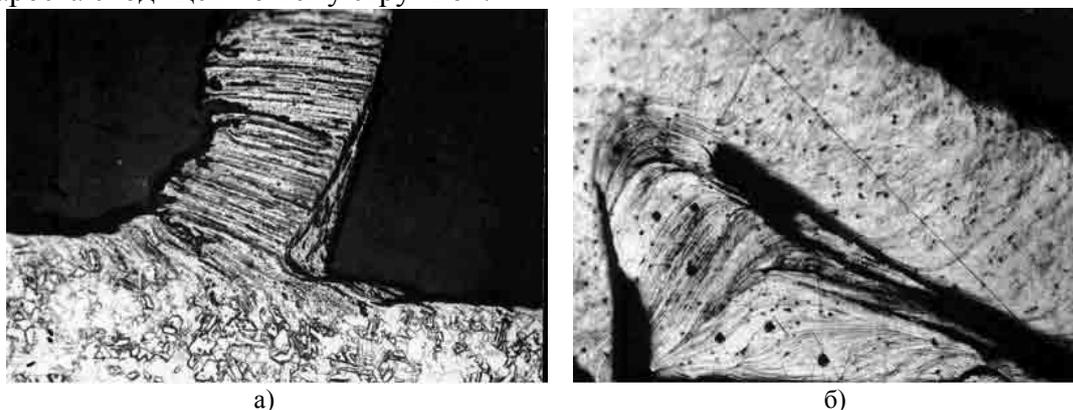


Рис. 2.39. Корень стружки с наростом (а) и нарост с разрушенной вершиной (б)

Представленные фотографии убедительно показывают, наличие капилляров и полостей, которые образуются в процессе резания и, естественно, заполняются окружающей зону резания технологической средой. Среда таким путем поступает на поверхность контакта инструмента с обрабатываемым материалом.

Кроме того, при резании металлов низкочастотные колебания заготовки не совпадают по фазе с высокочастотными колебаниями инструмента, в результате чего поверхность контакта его с обрабатываемым материалом периодически становится открытой для проникновения внешней среды на поверхности контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Это предположение поясняется схемой на рис. 2.40.

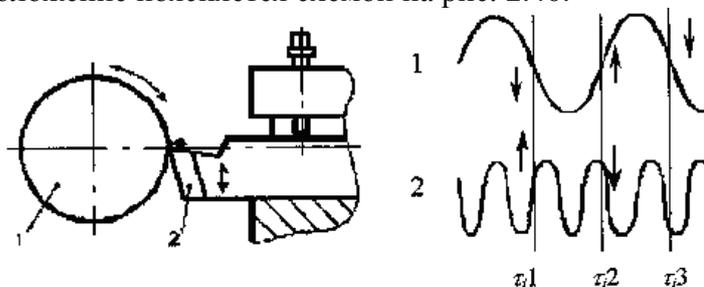


Рис. 2.40. Схема колебательных движений заготовки 1 и режущего инструмента 2 в процессе резания.

Согласно этой схеме в какой-то текущий момент, например, τ_1 заготовка 1 и инструмент 2 в своих колебаниях движутся навстречу друг другу, их контакт уплотняется, при этом условия проникновения внешней среды ухудшаются. Однако, в какой-то следующий момент τ_2 заготовка и инструмент идут в разные стороны, а в момент τ_3 они перемещаются в одну

сторону, но с разными скоростями. Эти примеры показывают, что в разные моменты времени плотность контакта инструмента с обрабатываемым материалом различна и достаточно велика вероятность полного нарушения контакта и образования открытых каналов для проникновения в них окружающей среды и образования смазочных слоев.

Хотя механизм проникновения технологических сред в зону резания до настоящего времени остается предметом обсуждения, установленным является тот факт, что СОЖ и другие среды, несмотря на громадные давления, проникают на поверхности контакта и существенно влияют на процесс резания и изнашивания режущего инструмента. Поскольку температура в зоне резания почти всегда выше 100°C, жидкость попадает на поверхности контакта не в обычном своем агрегатном состоянии, а в виде паров и отдельных частиц – молекул, их радикалов или ионов.

Путем применения СОЖ можно существенно повысить экономичность механической обработки. В некоторых случаях применение эффективной технологической среды является единственным техническим средством, обеспечивающим возможность нормального резания. Решение вопросов применения СОЖ и других сред при резании металлов осуществляется двумя путями: синтезированием эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей и разработкой новых способов подачи их в зону резания, путем создания новых технологических сред.

Эффективность какой-либо технологической среды может оцениваться коэффициентом увеличения стойкости инструмента K_T , представляющим собой отношение стойкости режущего инструмента $T_{T.C}$, при применении какой-то технологической среды или выбранного какого-то способа ее подачи, к стойкости режущего инструмента на той же технологической операции и при том же режиме резания, в среде атмосферного воздуха $T_{возд}$.

$$K_T = \frac{T_{T.C}}{T_{возд}}.$$

Здесь видно, что чем эффективнее среда или метод ее подачи, тем больше значение этого коэффициента. Применение СОЖ обычно обеспечивает увеличение стойкости режущего инструмента в 1,5...2,0 раза. Соответственно этому и коэффициент увеличения стойкости имеет значения $K_T = 1,5...2,0$ в зависимости от химического состава, смазочно-охлаждающей жидкости и способа ее подачи в зону резания.

Смазочно-охлаждающие жидкости и другие средства могут подаваться в зону резания различными способами, различными устройствами в разном своем агрегатном состоянии: твердого тела, жидкости или газа.

Подача смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания поливом свободно падающей струей.

В практике машиностроения наиболее часто СОЖ подается в зону резания поливом в виде свободно падающей струи. На рис. 2.41. представлен пример практической реализации схемы подачи СОЖ на токарном станке (вид сзади).

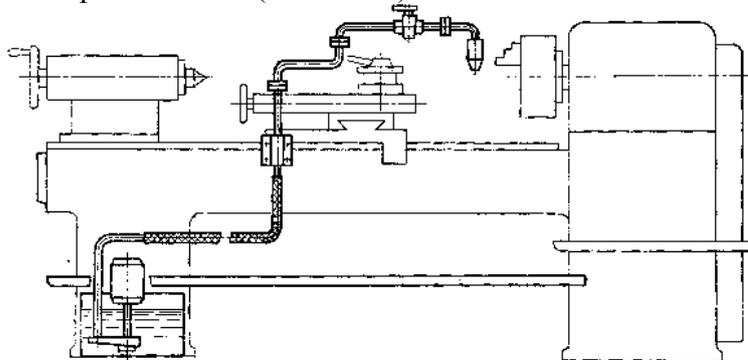


Рис. 2.41 Система подачи СОЖ на токарном станке.

Смазочно-охлаждающая жидкость из емкости в левой тумбе станка насосом через гибкий шланг подается в трубопровод с пробковым краном и сопловым насадком. Из соплового

насадка СОЖ подается свободно падающей струей на режущий инструмент и обрабатываемую деталь.

Количество подаваемой в зону резания СОЖ регулируется с помощью пробкового крана. Исползованная СОЖ стекает в корыто и сливается в емкость, к насосу. Давление жидкости в магистрали ее подачи должно быть достаточным для подъема жидкости до уровня положения соплового насадка. Обычно оно находится в пределах от 0,02 до 0,05 МПа и обеспечивается насосом. Количество подаваемой в зону резания СОЖ зависит от вида ее основы (водная или масляная), вида выполняемой операции и напряженности режима резания. На универсальных станках весом до 10 т жидкость подается в количестве от 2 до 20 л/мин. В некоторых случаях механической обработки (на многошпиндельных автоматах, зубообрабатывающих станках и других) поток СОЖ используется одновременно и для уноса стружки. Количество СОЖ для этих случаев рассчитывается по опытно-статистическим формулам.

На разных технологических операциях в зависимости от вида, размеров и конструкции используемого инструмента и желаемой ширины охвата зоны резания струей СОЖ применяются сопловые насадки различного вида. Сопловые насадки системы подачи СОЖ на токарных станках представляют собой металлическую трубку с конусным концом на выходе для формирования струи СОЖ и уменьшения ее разбрызгивания. Насадки для сверлильных станков имеют обращенный в сторону режущего инструмента косой срез, обеспечивающий подачу СОЖ на инструмент вдоль его оси. Насадки для фрезерных и зубообрабатывающих станков обеспечивают подачу СОЖ плоской широкой струей. При многошпиндельной обработке применяются сопловые насадки с гибкой частью позволяющей изменять положение насадка и направление струи СОЖ относительно режущего инструмента. Для подачи СОЖ в зону обработки шириной более 100 мм применяются сопловые насадки в виде трубки с расположенными на одной линии боковыми отверстиями диаметром 5...6 мм.

При необходимости более интенсивного охлаждения режущих инструментов применяется их внутреннее охлаждение, заключающееся в пропускании СОЖ по внутренним каналам в теле инструмента. Наиболее часто внутреннее охлаждение применяется в осевых инструментах типа сверл, зенкеров, разверток, протяжек, метчиков и иных подобных инструментах, но может применяться и в любых других инструментах. На рис. 2.42 показаны резцы с внутренним охлаждением. В теле 1 резца имеется полость, поверхность которой покрыта пористым материалом (рис. 2.42 а), смоченным охлаждающей жидкостью. При резании жидкость в режущей части резца испаряется и конденсируется в «холодной» зажимной части резца. По пористому материалу 2 она вновь поступает к режущей части. Резцы могут иметь замкнутую (рис. 2.42 б) и проточную (рис. 2.42 в) полости.

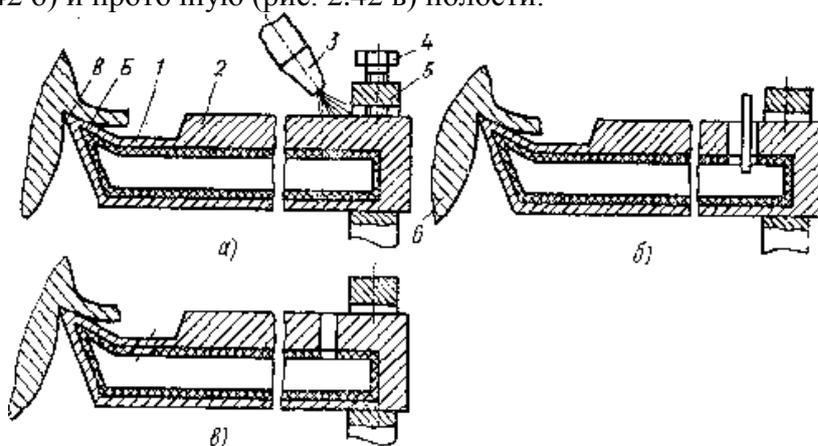


Рис. 2.42. Резцы с внутренним охлаждением.

Способы активации СОЖ.

Эффективность действия СОЖ зависит от их химического состава, путем изменения которого можно регулировать взаимодействие СОЖ с инструментальными и обрабатываемыми материалами. К настоящему времени разработано множество составов СОЖ, эффективно действующих при резании различных групп металлов и материалов. Другим путем повыше-

ния эффективности действия подаваемых поливом СОЖ является их активация внешними энергетическими воздействиями.

Механическая активация может осуществляться путем интенсивного перемешивания СОЖ в течении установленного времени или путем пропускания ее через ультразвуковой активатор.

Термическая активация заключается в нагревании жидкости до температуры близкой к температуре ее кипения, в результате которого уменьшается вязкость жидкости и увеличивается ее проникающая и реакционная способность. Недостатком этого способа является необходимость нагревания СОЖ в ходе выполнения технологической операции, непосредственно на рабочем месте, что требует повышенных мер предосторожности и ухудшает санитарно-гигиенические условия работы оператора.

Облучение СОЖ ультрафиолетовыми лучами производится под ртутно-кварцевыми лампами, в тонком слое жидкости, стекающей по лотку. В результате облучения СОЖ улучшаются ее смачивающие свойства, усиливается ее способность к образованию прочных смазочных слоев на поверхностях трения.

Магнитная активация происходит при протекании СОЖ через магнитное поле постоянных магнитов или электромагнитов. Такому виду активации подвергаются жидкости на водной основе.

Электрохимическая активация гальваническими элементами осуществляется с помощью специального соплового насадка, устанавливаемого на выходе СОЖ из системы ее подачи. Насадок представляет собой трубку с установленными в ней перфорированными дисками из разнородных металлов. Такому виду активации могут подвергаться жидкости на водной основе, обладающие свойствами электролита. Способ не требует подвода электроэнергии и изменения системы подачи СОЖ. Насадок прост по своему устройству и легко устанавливается на станке. Активация СОЖ происходит в результате образования в ней перекиси водорода под влиянием электролитического выделения кислорода из воды и насыщения ее ионами металла анода.

Пропускание электрического тока через жидкость приводит к ее нагреванию и термической активации, насыщению ее кислородом и ионами металла анода. Производится в сопловом насадке с одной или несколькими парами электродов.

Нетрадиционные способы подачи СОЖ в зону резания и новые технологические среды.

Способ подачи СОЖ поливом свободно падающей струей прост и удобен, привычен и традиционно широко применяется при обработке материалов на металлорежущих станках. Однако в практике машиностроительного производства есть много случаев где применение СОЖ поливом неудобно или недостаточно эффективно и обработка резанием ведется «всухую». Так, например, полив СОЖ не применяется на тяжелых продольно-строгальных, карусельных, продольно-фрезерных и других станках из-за вымывания смазки с их направляющих. При обработке по разметке полив не применяется, так как струя СОЖ закрывает разметку. При обработке чугунных заготовок образующаяся стружка сильно загрязняет рабочее место и слеживаясь затрудняет ее уборку. Анализ работы машиностроительных предприятий показывает, что число операций, где резание ведется «всухую», в массовом производстве составляет 10...30%, в серийном производстве 30...40%, в индивидуальном – 40...60%, а на предприятиях тяжелого машиностроения – до 90% от общего числа операций механической обработки. Поиски путей повышения эффективности механической обработки привели к разработке новых более эффективных или удобных способов подачи СОЖ и новых технологических сред.

В 1952 году предложена подача СОЖ в виде пены, которая образуется в результате продувания объема СОЖ сжатым воздухом и подается в зону обработки тем же путем, что и жидкость при ее поливе. Пена действует в зоне резания менее эффективно, чем струя СОЖ, коэффициент повышения стойкости находится в пределах 1,2...1,5. Пена не растекается так свободно по поверхностям обрабатываемой заготовки и деталей станка, не разбрызгивается и

потому меньше загрязняет рабочее место. Этот метод рекомендуется применять при обработке несимметричных деталей, выступающие части которых отбрасывают или сбивают подаваемую поливом струей СОЖ, или в других случаях, где применение более эффективных способов подачи СОЖ неудобно или невозможно по каким-либо причинам.

В начале 50-х годов разработан и исследован способ охлаждения и смазки зоны резания высоконапорной струей жидкости. При этом способе СОЖ подается в зону резания со стороны задней поверхности резца в виде тонкой струи под давлением 20...30 атмосфер. Первые работы по исследованию эффективности этого метода показали, что он позволяет многократно повысить стойкость режущего инструмента по сравнению с резанием при поливе СОЖ. Дальнейшие исследования этого метода были посвящены изучению влияния скорости истечения струи, расхода жидкости, ее температуры и других параметров, на стойкость режущего инструмента. Были установлены зависимости скорости струи, расхода жидкости и стойкости режущего инструмента от диаметра отверстия сопла и давления в подводящей системе.

Метод охлаждения высоконапорной струей СОЖ оказывается особенно эффективным при резании трудно обрабатываемых материалов и сплавов. Так, стойкостные испытания показали, что при прерывистом течении сплава ЭИ437 стойкость быстрорежущих резцов при подаче в зону резания высоконапорной струи СОЖ увеличивается более чем в 6 раз по сравнению с резанием при поливе СОЖ; аналогичные результаты были получены при прерывистом течении сплава ЭИ766. Метод охлаждения и смазки высоконапорной струей жидкости является весьма эффективным, достаточно изученным и разработанным методом, однако он до настоящего времени не получил широкого применения в промышленности из-за весьма серьезных присущих ему недостатков. Одной из причин, сдерживающих применение метода, является сильное разбрызгивание упругой и опасной струи жидкости, выходящей из сопла под большим давлением со скоростью 50...80 м/с. Другой причиной является трудность обеспечения герметичности подвижных соединений магистралей для подвода жидкости, работающих под давлением 20...30 атмосфер. По этим причинам метод применяется в настоящее время только при обработке трудно обрабатываемых материалов и в других случаях, где крайне необходимо повышение стойкости инструмента любыми техническими средствами.

Менее эффективным по сравнению с высоконапорным струйным методом охлаждения, но более удобным, технологичным и перспективным является *способ охлаждения и смазки зоны резания распыленной жидкостью*. Он был впервые предложен в 1944 году новосибирским инженером Г.И. Покровским. В своей статье автор, отметил, что этот способ «... несомненно, заслуживает большого внимания». Однако, в то трудное военное время методу не было уделено должного внимания и только лишь спустя десятилетие он был вновь изучен, разработан и взят в арсенал средств повышения эффективности резания металлов. Сущность метода охлаждения и смазки распыленной жидкостью заключается в том, что СОЖ распыливается в специальном распыливающем устройстве сжатым воздухом и подается в зону резания в виде воздушно-жидкостной смеси. Для образования воздушно-жидкостной смеси используются специальные распылительные установки разных конструкций.

Наиболее удачной и работоспособной оказалась установка типа УР-3 (рис. 2.43) с двойным смешиванием жидкости с воздухом, предназначенная для распыливания смазочно-охлаждающих жидкостей на водной основе. Сжатый воздух из заводской сети, пройдя пробковый кран или вентиль, поступает через фильтр 1 в редукционный клапан 2, предназначенный для снижения давления воздуха и поддержания его на постоянном уровне во время работы.

Из редукционного клапана 2 сжатый воздух через электромагнитный клапан 3 направляется в распределитель (первичный смеситель) 4. В распределителе образуется богатая жидкостью смесь ее с воздухом. Эта смесь подается во вторичный смеситель 6, где смешивается с сухим воздухом и далее по трубке 7 через сопло 8 направляется в зону резания. Воздушно-жидкостная смесь выходит из сопла с высокой скоростью. Движение воздушно-жидкостной смеси относительно охлаждаемых поверхностей с такой большой скоростью интенсифици-

рует теплообменные процессы в зоне резания. Более сильному теплообмену способствует также и то, что температура воздушно-жидкостной смеси при выходе ее из сопла понижается до 4...10°C. Поскольку смазочное действие СОЖ осуществляется путем проникновения на поверхности трения мельчайших частиц и паров жидкости, распыливание СОЖ делает ее более подготовленной к проявлению этого действия. При распыливании расходуется небольшое количество СОЖ (около 300 г/час), жидкость не разбрызгивается и не требует устройств для ее сбора, а зона резания остается всегда открытой для наблюдения.

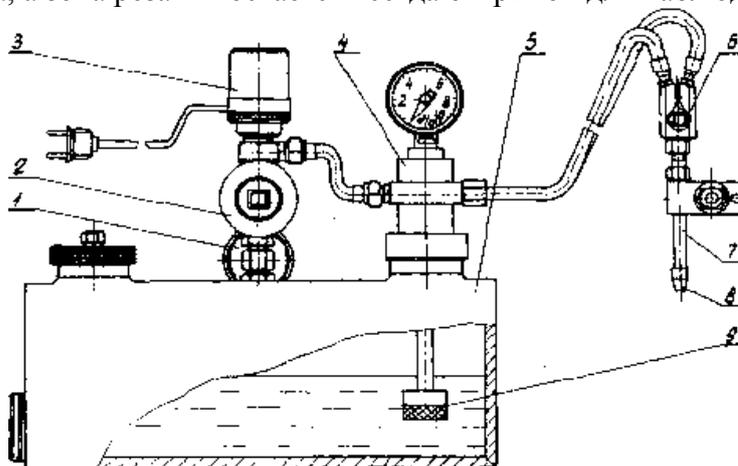


Рис. 2.43. Установка УР-3 с двойным смешиванием жидкости с воздухом.

Распыленные жидкости действуют в зоне резания более эффективно, чем подаваемая поливом жидкость благодаря подаче в зону резания кислорода сжатого воздуха и электризации капель распыленной жидкости. Описанные распылительные установки автоматизированы. Автоматизация заключается в применении на этих установках устройств, автоматически включающих подачу в зону резания распыленной жидкости во время рабочего хода станка и прекращающих подачу ее с прекращением работы станка.

Целесообразность такой автоматизации заключается в следующем.

Исключается расход сжатого воздуха в период, когда не производится резание.

Оснащение станков автоматизированными установками не вызывает дополнительных затрат времени на их обслуживание, в частности, на включение и выключение подачи распыленной жидкости во время холостых ходов, промеров, подвода инструмента, смены деталей и выполнения других рабочих приемов. Кроме того, оснащение станков автоматизированными установками не увеличивает психологическую нагрузку на рабочего.

Известно, что недостатком метода является шум, создаваемый воздушной струей, который особенно заметен, когда станок не работает. Автоматическое выключение установки в момент останова станка в известной мере устраняет этот недостаток. При одновременном начале работы станка и установки шум от работы установки становится менее заметным.

Предполагая применение охлаждения и смазки зоны резания распыленными жидкостями на автоматах и полуавтоматах, вопрос автоматизации работы установок встает еще более остро, так как немыслимо представить оснащение автоматических станков устройствами, требующими ручного обслуживания.

Распыленные жидкости могут быть успешно применены на большинстве тех технологических операций, где полив в силу присущих ему недостатков не применяется и обработка производится всухую. Метод охлаждения и смазки распыленной жидкостью следует рассматривать как дополнение к существующим методам, как средство, расширяющее возможности применения смазочно-охлаждающих жидкостей, позволяющее значительно сократить число технологических операций, выполняющихся всухую.

Особую группу представляют способы подачи СОЖ при шлифовании. При шлифовальных работах весьма эффективными оказываются способы подачи СОЖ через поры абразивного круга, поэтапным и гидроаэродинамическим способами, путем применения СОЖ в замороженном состоянии в виде твердых брусков льда, прижимаемых собственным весом к

обрабатываемой поверхности заготовки. Прижимающаяся к заготовке поверхность бруска замороженной СОЖ подтаивает и образует пленку жидкости, которая и обеспечивает смазочно-охлаждающее действие в зоне резания.

Поиски путей повышения эффективности действия внешних сред привели к созданию новых, на первый взгляд совершенно неожиданных, и крайне противоположных технических решений, как, например, резание в среде расплавленного металла и с применением замороженных СОЖ., в среде холодных охлаждающих газов и в среде СОЖ, нагретых до паробразного состояния.

В связи с тем, что некоторые эффективные компоненты жидкости, типа четыреххлористого углерода, под действием высокой температуры образуют газообразные вещества вредные или опасные для здоровья человека, было предложено подавать их в зону резания в капсулированном виде. Позднее этот способ был усовершенствован путем введения в оболочку капсул магнетита и придания им за счет этого свойства магнитовосприимчивости, обеспечивающего миграцию микрокапсул в зону резания под действием естественного магнитного поля. Капсулы могут содержать в себе минеральное масло, активные присадки или активные газы.

Новые способы подачи СОЖ привели к образованию новых технологических сред, которые полностью охватывают зону резания и изолируют ее от окружающего атмосферного воздуха. Резание при этом ведется в новой технологической среде.

Сила резания и ее составляющие (на примере точения).

При несвободном резании на режущий инструмент действует пространственная система сил. Режущий инструмент находится в контакте с обрабатываемым материалом по трем рабочим поверхностям его режущей части: по передней, главной задней и вспомогательной задней поверхности. Поскольку эти поверхности инструмента расположены под разными углами друг к другу, то и действующие на этих поверхностях нормальные и касательные силы в пространстве располагаются не параллельно друг к другу, не в параллельных, как при свободном резании, плоскостях. Природа сил, естественно, та же, что и при свободном резании, это силы нормального давления и касательные силы трения. Равнодействующая всех сил при несвободном резании раскладывается на три взаимно перпендикулярных направления X, Y, и Z. Схема сил при несвободном резании представлена на рис. 2.44.

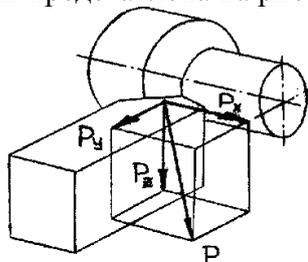


Рис. 2.44. Пространственная система сил при несвободном резании.

Расчет величины составляющих силы резания для практических целей ведется по эмпирическим формулам с использованием данных справочной литературы.

Расчет составляющих силы резания: осевой составляющей P_x , радиальной P_y и главной составляющей силы резания P_z производится по эмпирическим формулам

$$P_x = C_{P_x} \cdot t \cdot X_{P_x} \cdot s \cdot Y_{P_x} \cdot v_{P_x};$$

$$P_y = C_{P_y} \cdot t \cdot X_{P_y} \cdot s \cdot Y_{P_y} \cdot v_{P_y};$$

$$P_z = C_{P_z} \cdot t \cdot X_{P_z} \cdot s \cdot Y_{P_z} \cdot v_{P_z};$$

где: P – проекция (составляющая) силы резания на направления X, Y и Z соответственно, H ; C_p – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала, по сути своей представляющая удельную силу резания, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения среза, Н/мм²; k_p – общий коэффициент, представляющий собой произведение частных коэффициентов, учитывающих конкретные условия резания.

Работа резания.

Полная работа резания затрачивается на пластическую деформацию срезаемого слоя припуска, на упругую деформацию, которая всегда предшествует пластической деформации, на преодоление сил трения на передней и задней поверхностях, на образование новой поверхности (она называется работой диспергирования-разделения).

$$A = A_{\text{пл.деф}} + A_{\text{упр.деф}} + A_{\text{трения}} + A_{\text{диспергир}}$$

Работа диспергирования $A_{\text{диспергир}}$ и работа на упругую деформацию составляют менее 1% всей работы и потому ими можно пренебречь, а вся работа резания практически расходуется на пластическую деформацию, на преодоление трения на передней и задней поверхностях.

$$A = A_{\text{пл.деф}} + A_{\text{тр.пер.пов}} + A_{\text{тр.задн.пов}}$$

Мощность, необходимая для резания на принятом режиме, рассчитывается по формуле

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

где: N – мощность, кВт; P_z – главная составляющая силы резания, Н; v – скорость резания, м/мин.

Методика назначения режима резания при точении. Проверка выбранного режима.

Выбор глубины резания. Глубина резания (t) определяется по зависимости

$$t = \frac{D - d}{2}$$

где D и d – диаметры соответственно обрабатываемой и обработанной поверхностей, мм.

При черновой обработке весь припуск на обработку следует срезать за один рабочий ход и только при завышенных припусках и обработке на маломощных станках – за наименьшее число рабочих ходов.

При чистовом точении припуск срезается за два прохода и более. Глубина резания при параметре шероховатости $Ra = 3,2$ мкм назначается от 0,5 до 2 мм, а при $Ra \geq 0,8$ мкм – $t = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Выбор подачи. При черновой обработке подачу S назначают с учетом глубины резания, диаметра обрабатываемой заготовки, жесткости системы СПИД, прочности режущей части и жесткости державки резца, допустимого усилия механизма подачи станка.

При чистовом точении ограничивающим фактором при выборе подачи является шероховатость и точность обработанных поверхностей.

При нарезании резьбы подача берется равной ходу нарезаемой резьбы, т. е. шагу резьбы, умноженному на число заходов. Выбранную подачу корректируют по паспорту станка, на котором предусматривается производить обработку детали.

Выбор скорости резания. Скорость резания v (м/мин) определяют исходя из глубины резания t и подачи S расчетным путем по зависимостям или выбирают из таблиц, приводимых в справочной литературе.

Скорость резания для точения и растачивания рассчитывается по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v$$

где C_v – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и материала резца; T – период стойкости резца в минутах (при одноинструментальной обработке принимают $T = 60$ мин).

Поправочный коэффициент, учитывающий конкретные для данного случая условия резания, является произведением ряда отдельных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора на скорость резания,

$$K_v = K_{bv} K_{Mv} K_{Tv} K_{Cv} K_{Uv} K_{\phi v} K_{\phi'v} K_{rv} K_{Xv} K_{\Phi v} K_{h_{3v}} K_{Ov},$$

где K_{bv} – коэффициент, учитывающий вид обработки; K_{Mv} – механические свойства обрабатываемых материалов; K_{Tv} – состояние обрабатываемого материала; K_{Cv} – состояние обрабатываемой поверхности заготовки; K_{Uv} – материал режущей части инструмента; $K_{\phi v}$; $K_{\phi'v}$; K_{rv} ; K_{Xv} – параметры резца; $K_{\Phi v}$ – формы передней поверхности резца; $K_{h_{3v}}$ – допустимый износ

по задней поверхности резца; K_{Ov} – применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при обработке сталей.

Определение частоты вращения. Частота вращения (n , мин^{-1}) определяется по зависимости

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

где v – скорость резания, м /мин; D – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки при точении; диаметр обработанной поверхности при растачивании; диаметр сверла, зенкера, развертки, фрезы, соответственно при сверлении, зенкерования, развертывании, фрезеровании, мм.

Рассчитанную по зависимости частоту вращения необходимо скорректировать по паспорту станка. Принимается ближайшая к расчетной меньшая из имеющихся на станке частот вращения или большая, не превышающая расчетную более чем на 5%. Это объясняется тем, что даже незначительное повышение скорости резания против расчетной приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Выбрав скорректированную частоту вращения n_k , определяем фактическую скорость резания (м/мин):

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_k}{1000}$$

Проверка выбранного режима резания по мощности привода станка. Проверка производится при черновой обработке с большими глубинами резания и подачами. При получистовой и чистовой обработках она, как правило, не требуется. Должно быть выполнено условие

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta}$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя привода станка, определяемая по его паспорту, кВт; N_e – эффективная мощность резания, кВт; η – к.п.д. привода станка (для универсальных станков, имеющих коробку скоростей, обычно $\eta = 0,7 \dots 0,8$).

Если составляющая силы резания P_z задана в Н и скорость v_{ϕ} в м/мин, то получим N_e в кВт

$$N_e = \frac{P_z \cdot v_{\phi}}{6 \cdot 10^4}$$

Составляющие силы резания в Н (тангенциальную P_z , радиальную P_y , осевую или подачи P_x) рассчитывают при точении и растачивании по зависимости

$$P_z(P_y; P_x) = C_p t^{x_p} s^{y_p} v^{z_p} K_p$$

при нарезании резьбы резцами из твердых сплавов

$$P_z = \frac{9,8 C_p s^{y_p}}{t^{u_p}} K_p$$

где C_p – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и материала резца.

Влияние скорости резания на силу резания следует учитывать только при обработке сталей твердосплавными резцами со скоростями резания $v > 50$ м/мин. В этом случае $z_p = -0,15$ для P_z ; $z_p = -0,3$ для P_y ; $z_p = -0,4$ для P_x . Для всех остальных случаев обработки $z_p = 0$.

Если при расчете окажется

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta}$$

то в первую очередь следует уменьшить скорость резания, перейдя на ближайшую меньшую частоту вращения. При этом неизбежна потеря производительности так же, как и при уменьшении глубины резания и подачи, зато в большей степени увеличится стойкость инструмента.

Основное (машинное) время.

Основное время определяется расчетным путем для каждого перехода.

Для точения, растачивания, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, строгания оно рассчитывается по формуле

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot \frac{h}{t} = \frac{l + l_1 + l_2}{S \cdot n} \cdot i,$$

где S – подача, мм/об (мм/дв.х. при строгании); h – припуск на обработку, мм; $i = h / t$ – число рабочих ходов (проходов); $L = l + l_1 + l_2$ – расчетная длина обработки, т.е. путь перемещения режущего инструмента в направлении подачи, мм; l – длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи (берется из чертежа детали), мм; $l_1 = t / \text{tg}\varphi$ – путь врезания режущего инструмента, мм; l_2 – величина перебега режущего инструмента принимается в пределах 1...3 мм в зависимости от диаметра (длины при строгании) обрабатываемой поверхности или режущего инструмента (сверла, зенкера и др.). При обработке «в упор» принимают $l_2 = 0$.

Для обеспечения свободного подхода инструментов к обрабатываемой поверхности величина врезания l_1 увеличивается на 0,5...2 мм.

Классификация токарных станков, их характеристика.

Станки токарной группы делят на следующие типы.

1. Токарно-винторезные станки – для обработки тел вращения. На станках выполняют все токарные работы, включая нарезание резьб резцами.

2. Револьверные станки – для обработки заготовок, имеющих форму тел вращения и требующих обработки нескольких поверхностей разными инструментами. Находят широкое применение в серийном производстве.

3. Карусельные станки – для обработки заготовок большого диаметра, малой высоты и значительного веса. Станки имеют горизонтальный стол с вертикальной осью вращения.

4. Многолезцовые станки – для обработки заготовок одновременно несколькими резцами. На станках обрабатывают детали, ограниченные цилиндрическими, коническими и торцовыми поверхностями. Станки используют в серийном производстве.

5. Токарные полуавтоматы и автоматы, одно- и многошпиндельные – для обработки заготовок из прутков (проката) или штучных заготовок в массовом и крупносерийном производствах.

6. Специализированные токарные станки – для обработки определенных деталей, как, например, коленчатых валов, труб, муфт, колесных пар и т. п. На станках обрабатывают детали одного наименования, сходные по конфигурации, но разных размеров.

7. Специальные токарные станки – для обработки деталей одного типоразмера или для обработки одной определенной поверхности. Станки используют в массовом и крупносерийном производствах.

Каждый металлорежущий станок получает цифровой трехзначный или четырехзначный шифр. Часто к цифрам добавляют буквы, обозначающие дополнительную характеристику станка. Первая цифра обозначает группу, вторая – тип, а третья (при четырехцифровом обозначении – третья и четвертая) – типоразмер станка. Прописные буквы после первой цифры указывают на модернизацию станка.

Пример. Станок 1К62: цифра 1 обозначает, что станок относится к токарной группе; буква К обозначает, что станок модернизирован, цифра 6 – тип станка (токарно-винторезный); цифра 2 – высоту центров станка, равную 200 мм.

Токарно-лобовые станки.

Для обработки коротких заготовок большого диаметра и небольшой длины в единичном производстве применяют токарно-лобовые станки. При сравнительно небольшой длине они имеют планшайбу большого диаметра. Задней бабки станки не имеют. На рис. 2.45 показаны лобовые станки с суппортом, установленным на одной станине со шпиндельной бабкой (рис. 2.45 а), и станки с обособленным суппортом (рис. 2.45 б). Последние станки предназначены для обработки особо крупных деталей, превышающих диаметр планшайбы. Для этого в фундаменте под планшайбой делают выемку.

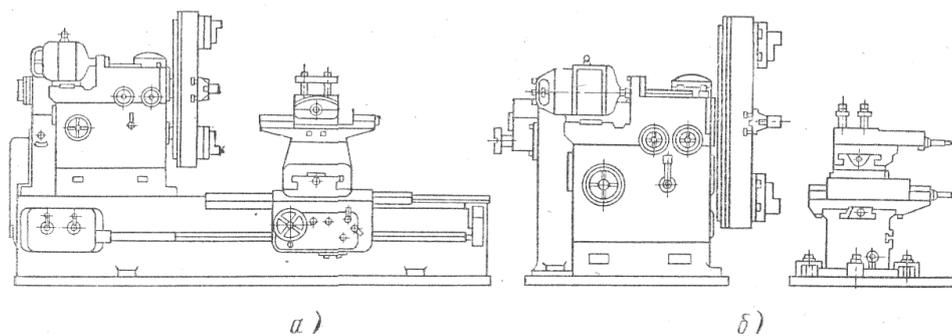


Рис. 2.45. Токарно-лобовые станки

Привод подачи суппорта такого станка осуществляется или от отдельного электродвигателя, или от шпинделя станка через храповые устройства. Ввиду невысокой точности и сложности установки заготовки на вертикальной планшайбе, а также низкой производительности, лобовые станки применяют редко, они вытеснены более совершенными карусельными станками.

Токарно-карусельные станки.

Токарно-карусельные станки применяют для обработки тяжелых деталей большого диаметра и сравнительно небольшой длины. На этих станках можно выполнять почти все токарные операции. Горизонтальное расположение плоскости круглого стола (планшайбы), на котором закрепляется заготовка, значительно облегчает ее установку и выверку. Кроме того, шпиндель разгружен от изгибающих сил, что обеспечивает более высокую точность обработки деталей. Токарно-карусельные станки изготовляют двух типов; одностоечные и двухстоечные. Станки с планшайбой диаметром до 1600 мм обычно одностоечные, а станки с планшайбами большего диаметра – двухстоечные.

Токарно-карусельный станок мод. 1512. Станок универсальный, предназначен для токарной обработки крупных деталей типа корпусов, маховиков и т. п. Общий вид одностоечного токарно-карусельного станка показан на рис. 2.46.

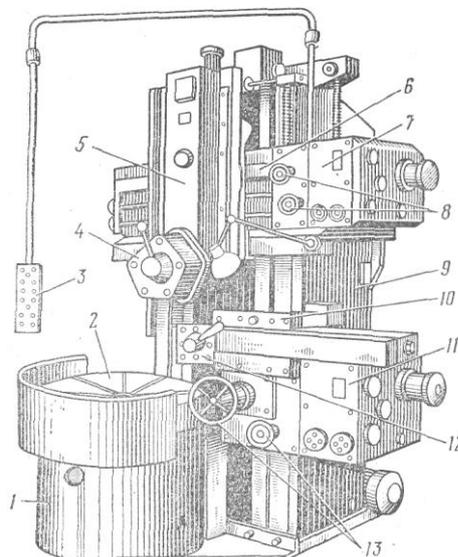


Рис. 2.46. Токарно-карусельный одностоечный станок

Станина 1 жестко скреплена со стойкой 9, имеющей вертикальные направляющие для перемещения по ним траверсы 6 и бокового суппорта 10 с четырехместным резцедержателем 12. На станине на круговых направляющих расположена планшайба 2 для установки на ней обрабатываемых деталей или приспособлений. Коробка скоростей размещена внутри станины. На горизонтальных направляющих траверсы может перемещаться вертикальный револьверный суппорт 5 с пятипозиционной револьверной головкой 4. Привод подач револьверного суппорта и бокового суппорта 10 осуществляется от коробок подач 7 и 11. Перемещения ре-

вольверного суппорта вручную производят маховичками 8, а бокового суппорта – маховичками 13. Управление станком осуществляется от пульта 3.

Главное движение (вращение планшайбы) сообщается от электродвигателя 1 через клиноременную передачу на вал, частота вращения которого 5...250 мин.

Токарно-револьверные станки предназначены для серийного изготовления деталей сложной формы из прутка или штучных заготовок. У револьверных станков в отличие от токарных отсутствует ходовой винт, и вместо задней бабки они имеют револьверную головку – поворотный механизм для установки различных инструментов. Станки бывают с горизонтальной, вертикальной и продольной осью вращения револьверной головки (рис. 2.47).

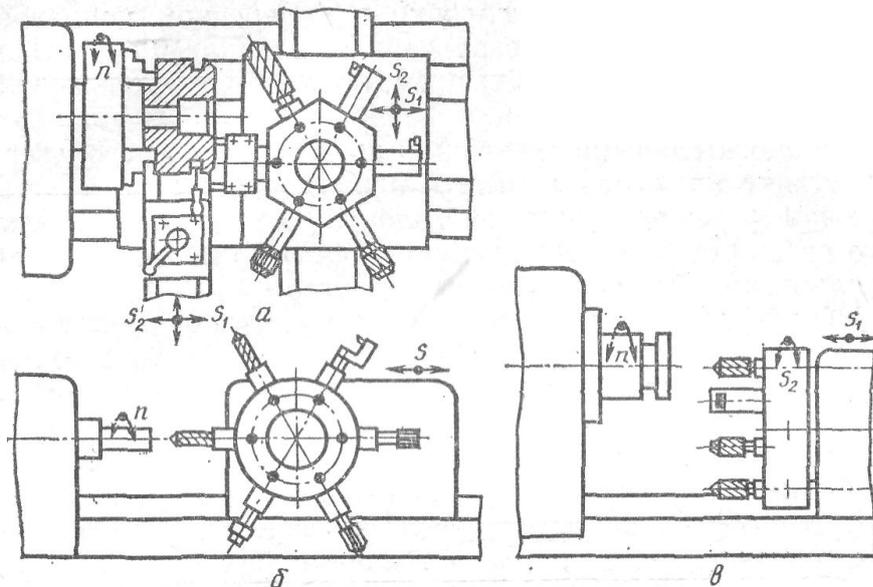


Рис. 2.47. Револьверная головка с вертикальной (а), горизонтальной (б) и продольной (в) осью

Револьверная головка расположена на дополнительном суппорте, получающем продольную подачу. Инструмент на револьверных станках устанавливают в определенном порядке в револьверной головке и на поперечном суппорте. На револьверной головке ставят сверла, зенкера, развертки, резцы для обточки и расточки, резьбонарезные головки; на поперечном суппорте – отрезные, подрезные и фасонные резцы, работающие с поперечной подачей.

В вертикально-револьверных станках поперечная подача чаще осуществляется поперечным суппортом, реже – перемещением револьверной головки в поперечном направлении. В горизонтально-револьверных станках поперечная подача производится медленным поворотом револьверной головки вокруг своей оси.

Вспомогательными движениями в токарно-револьверном станке являются подача и зажим прутка, периодические повороты револьверной головки для последовательного ввода режущего инструмента, быстрый подвод и отвод револьверного и поперечного суппортов.

Станки с программным управлением.

Назначение и область применения станков с программным управлением. Программное управление станком – это управление станком по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде, и совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимых для осуществления программного управления, называется системой программного управления станком. Программное управление станками подразделяется на позиционное, контурное, комбинированное и самоприспосабливающее (адаптивное). Позиционные системы ПУ предназначены для перемещения рабочих органов из одной точки с координатами (X, Y) в другую точку с координатами (X_x, Y_x). Причем обработка ведется не в процессе перемещения, а лишь после остановки. Контурная система ПУ обеспечивает заданную сложную форму траектории. Здесь обеспечивается перемещение между точками взаимосвязано. Если профиль имеет сложную форму, то ее аппроксимируют отрезками прямой линии или дугой

окружности. Комбинированная или прямоугольная система рассматривается как разновидность позиционной и комбинированной систем. Адаптивная система автоматического управления построена на использовании обратной связи, характеризующей резание, для воздействия на этот процесс и повышение эффективности обработки при изменяющихся условиях.

Станки с ПУ отличаются высокой степенью автоматизации, универсальностью, способностью к быстрой переналадке. Поэтому они эффективны при автоматизации мелкосерийного и единичного производства. По сравнению с обычными универсальными станками, станки с ПУ повышают производительность в 2...4 раза и более. При этом повышается стабильность размеров, снижается брак, улучшаются условия труда. Системы ПУ могут быть замкнутыми и незамкнутыми.

Замкнутая система содержит обратную связь от станка к устройству управления. Обратная связь является вторым потоком информации. Источником этой информации служит датчик обратной связи (ДОС).

Незамкнутой называют систему ПУ с одним потоком информации, источником которой служит программа. Программа вводится в считывающее устройство (СУ) с пульта оператора (ПО). Центральная часть систем ПУ – устройство управления (УУ), состоящее из устройства ввода (УВ), устройства (УП), обрабатывающего информацию для привода подач, устройства связи с приводом УС. Источником движения в приводе служит шаговый электродвигатель (ШД). Перемещение исполнительного механизма (ИМ) станка на заданное расстояние происходит с помощью устройства, отсчитывающего соответствующее число импульсов.

В станках с ПУ все элементы программы: направления, величины и скорости, задания рабочих и вспомогательных перемещений, поря док работы исполнительных органов и другие элементы цикла (например, автоматическая смена режущего инструмента) задаются | цифровом коде в виде чисел, расположенных в порядке и записанных определенным образом с помощью какого-либо кода. Код представляет собой условную запись числа или действия, позволяющего достаточно простым способом получить изображение этого тела в форме, удобной для использования в системах программного управления. Различные коды, применяемые в станках с ПУ характерны тем, что любое число, представляющее заданное перемещение исполнительного органа, изображается в виде какой-либо комбинации, состоящей из двух различных цифр 1 и 0.

Главным достоинством такой записи является удобство преобразования информации. В общем случае всякий код, применяемый в системах ПУ, складывается из двух основных элементов: кода перемещений и кода вспомогательных команд. При этом способ кодирования может быть различным. Так, например, задание перемещений можно изображать комбинацией цифр (0 и 1), а вспомогательные команды (технологические и логические) буквами.

Станки сверлильно-расточной группы. Общие сведения.

В этом вопросе рассматривается обработка отверстий сверлами, зенкерами и развертками, т.е. сверление, зенкерование и развертывание. Эти виды обработки отверстий применяются в зависимости от требуемой точности размера отверстия и качества обработанной поверхности. Во всех случаях главным движением является вращательное движение инструмента, а движением подачи – поступательное перемещение его вдоль оси вращения.

Сверлами обычно обрабатываются отверстия в сплошном материале, когда требуется получить отверстия невысокой точности. Более точные отверстия после сверления обрабатываются зенкерами и развертками. В этом случае точность отверстий обеспечивается лучшим центрированием инструмента (благодаря наличию большего числа режущих лезвий), повышенной жесткостью инструмента и более легкими условиями работы каждого лезвия.

Сопоставление условий работы инструментов при сверлении, зенкерования и развертывании может быть представлено таблицей 2.1.

При сверлении в сплошном материале глубина резания t равна половине диаметра сверла, а при рассверливании – половине разности диаметров до и после сверления.

Таблица 2.1 – Сравнение условия работы осевых инструментов.

Вид обработки	Условие работы инструмента			Шероховатость Rz, мкм	Квалитет точно- сти
	t, мм	$\varphi, ^\circ$	Z _{р.лезв}		
Сверление	n/2	60	2	100...40	11...12
Зенкерование	1...3	45...60	3...6	20...10	9...10
Развертывание	0,05...0,2	5...15	4..12	10...3	8...7

Подачей при сверлении (зенкеровании и развертывании) является величина осевого перемещения инструмента за время одного его оборота. Поскольку резание одновременно ведется двумя режущими лезвиями, то каждое из них работает с подачей S_z , равной половине осевого перемещения сверла за время его одного оборота.

Скорость резания при сверлении равна окружной скорости периферийных точек режущих кромок сверла.

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

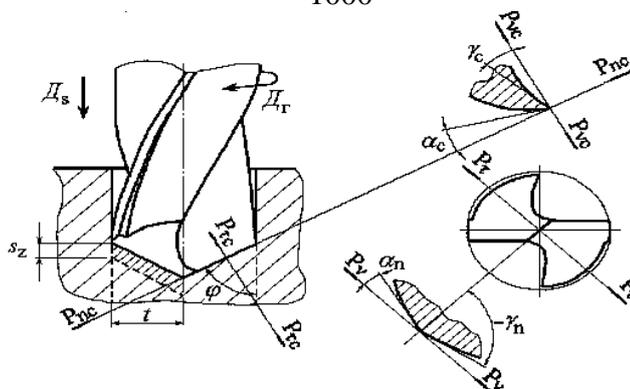


Рис 2.48. Элементы резания при сверлении и геометрические параметры сверла.

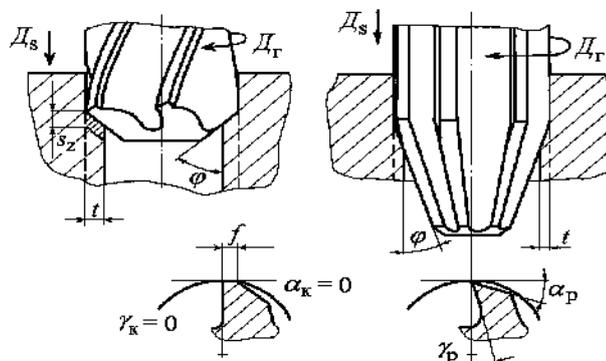


Рис 2.49. Элементы резания: а – при зенкеровании, б – развертывании; в – профиль режущей частей зуба развертки; г – профиль калибрующей частей зуба развертки.

В отличие от других процессов резания имеет свои особенности. Они заключаются в том, что резание ведется инструментом, передний угол которого различен в разных точках режущего лезвия. Скорость резания здесь также не постоянна и меняется от 0 в центре сверла до какого-то максимального значения на периферии сверла. В центре отверстия, под перемычкой сверла, резание как таковое отсутствует, производится смятие и выдавливание обрабатываемого материала к периферии под режущие кромки. Особенностью геометрии сверла является наличие пятой поперечной режущей кромки. Ленточка сверла не имеет вспомогательного заднего угла, что вызывает повышенное трение с обработанной поверхностью. Особенностью процесса является также и то, что сверло, окруженное обрабатываемым материалом, работает в стесненных условиях. Это затрудняет отвод стружки и циркуляцию внешней среды, что приводит к худшим условиям охлаждения.

При зенкеровании и развертывании элементы режима резания определяются так же, как при рассверливании. Каждый зуб зенкера или развертки работает с подачей, равной доле

осевой подачи. Поскольку зенкеры и развертки имеют главные углы в плане меньше, чем у сверла, толщина среза меньше, чем при сверлении.

$$s_z = \frac{s_0}{z}; \quad a = \frac{s_0}{z} \cdot \sin \varphi$$

При расчете режима резания глубина резания назначается в указанных выше пределах. Подача выбирается по справочным таблицам с учетом глубины сверления, характера последующей обработки, жесткости системы СПИД и свойств инструментального материала.

Силы, крутящий момент, скорость резания, мощность затрачиваемая при сверлении.

Все основные явления, свойственные процессу точения (упругие и пластические деформации обрабатываемого материала, усадка стружки, наростообразование на режущей кромке сверла, тепловыделение и другие), присущи также и сверлению. Вместе с тем процесс сверления имеет и ряд особенностей: в более тяжелых условиях протекает процесс образования стружки; затруднен отвод стружки и подвод смазочно-охлаждающей жидкости. Переменное значение скорости резания и переднего угла по длине режущей кромки сказывается на характере образования стружки. Поперечная режущая кромка (перемычка) имеет угол резания больше 90° , а скорость резания у перемычки почти равна нулю, поэтому у перемычки происходит не резание, а смятие материала, что вызывает повышенный износ сверла. Направляющие ленточки, не имея заднего угла, создают при сверлении значительное трение о поверхность обработанного отверстия.

Спиральное сверло является многолезвийным инструментом, так как совершает работу резания пятью режущими кромками (две главные, две вспомогательные и поперечная). При резании сверлами возникают давление сходящей стружки на переднюю поверхность и давление материала на заднюю поверхность, трение стружки о переднюю поверхность и трение задней поверхности о поверхность резания, а также трение о стенки отверстия ленточек, расположенных на цилиндрической поверхности сверла, образуются также осевое давление и крутящий момент от поперечной кромки сверла. Если рассмотреть силы, действующие на две главные режущие кромки, и принять, что эти силы сконцентрированы в точках А (рис. 2.50), то при разложении этих сил по осям координат получим составляющие P_x, P_y, P_z . Радиальные силы P_v , равные и противоположно направленные, взаимно уничтожаются. Силы P_z , действующие примерно на плече, равном $R/2$, создают крутящий момент, а сила P_x является составляющей осевой силы P_0 .

Для инженерных расчетов при сверлении необходимо знать осевую силу и крутящий момент. Осевая сила состоит из следующих составляющих:

$$P_0 = 2P_x + P_{\text{пер}}$$

где $P_{\text{пер}}$ – сила воздействия материала на поперечную режущую кромку (перемычку).

Осевая сила преодолевается механизмом подачи станка.

Скорость резания рассчитывается при сверлении:

$$v = \frac{C_v D^4}{T^m s^{y_v}} K_v$$

при зенкерования, рассверливании и развертывании:

$$v = \frac{C_v D^4}{T^m s^{y_v} t^x} K_v$$

Крутящий момент рассчитывается как произведение силы резания P_z половины размера диаметра инструмента:

$$M_{кр} = \frac{10C_v \cdot t^x \cdot s^{y_v} \cdot D \cdot z}{2 \cdot 1000}, \text{ Н.м,}$$

а эффективная мощность резания, определяется по формуле:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, \text{ кВт.}$$

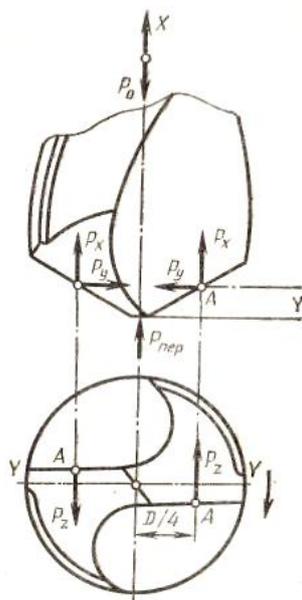


Рис. 2.50. Силы, действующие на главные режущие кромки сверла

Машинное (основное) время при сверлении.

Основное технологическое время рассчитываются с учетом врезания и перебега:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot s_0} = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{n \cdot s_0}, \text{ мин}$$

Для сверления: $L = l_0 + 0,3D$;

для зенкерования: $l_1 = t \cdot \text{ctg}\varphi$; $l_2 = 1 - 4$, мм.

для развертывания: $l_1 = t \cdot \text{ctg}\varphi$; $l_2 = 0,5l_k$,

где l_k – длина калибрующей части развертки, l_0 – длина обрабатываемого отверстия, D – диаметр сверла.

Характеристика способов обработки на станках 7 группы. Особенности процесса резания при строгании и долблении.

На строгальных станках обрабатывают вертикальные, горизонтальные и наклонные плоскости, канавки различного профиля, фасонные поверхности и т. п. При строгании инструмент и заготовка возвратно-поступательно перемещаются относительно друг друга. Это движение по образующей называют главным движением резания. Перемещение заготовки или инструмента, перпендикулярное движению резания, обеспечивается движением подачи.

Строгальные станки подразделяют на поперечно-строгальные и продольно-строгальные. У поперечно-строгальных станков движение резания сообщается инструменту (резцу) (рис. 2.51 а), а движение подачи передается на заготовку. У продольно-строгальных станков движение резания сообщается заготовке, а движение подачи – инструменту (резцу). Движение подачи заготовки или инструмента в зависимости от схемы резания осуществляется на двойной ход главного движения. При строгании срезание припуска происходит во время рабочего хода, во время вспомогательного хода (обратного) заготовка или резец возвращаются в исходное положение. Перемещение заготовки или инструмента на величину подачи в поперечном направлении осуществляется в конце вспомогательного хода. Для сокращения времени цикл при строгании скорость вспомогательного хода больше скорости рабочего хода.

Резание при строгании имеет свои особенности. При точении на резец действуют силы резания в течение всего времени снятия припуска. При строгании силы резания воздействуют на резец только в период рабочего хода. В период вспомогательного хода происходит охлаждения резца, что увеличивает его стойкость. Каждое врезание при строгании сопровождается ударной нагрузкой, значение которой зависит от скорости резания, поперечного сечения срезаемого слоя, геометрических параметров резца и характеристик прочности обрабатываемого материала. Наличие ударной нагрузки следует учитывать при выборе конструктивных параметров резцов.

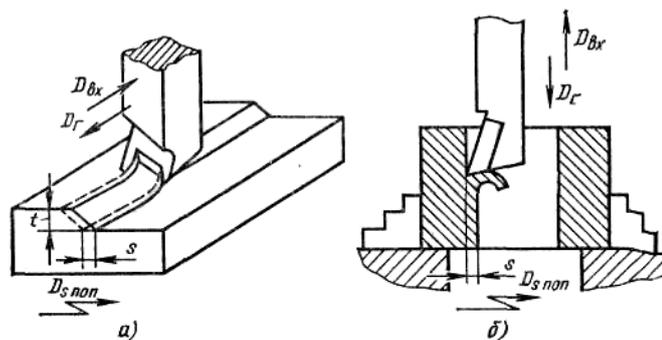


Рис. 2.51. Схема снятия припуска на поперечно-строгальном (а) и долбежном (б) станке.

Поперечное сечение резца должно быть более массивным и жестким, а материал режущей части должен выдерживать ударную нагрузку. Скорость резания должна быть также небольшой, так как возвратно-поступательное перемещение больших масс при строгании (ползуна или заготовки) вызывает воздействие больших инерционных сил, что создает тяжелые условия реверсирования.

К станкам строгальной группы относятся и долбежные станки. У долбежных станков резец совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости (рис. 2.51 б). Движение резца вниз является рабочим, а вверх — вспомогательным ходом. Скорость вспомогательного хода кинематически связана со скоростью резания и не может значительно превышать скорость рабочего хода (у станков с механическим приводом).

Движение подачи осуществляется заготовкой и может быть продольным, поперечным и круговым. Подача при долблении, как и при строгании, является подачей на двойной ход инструмента (мм/дв. ход). Глубина резания t измеряется в направлении, перпендикулярном обработанной и обрабатываемой поверхностям.

Строгальные и долбежные резцы, особенности их геометрии.

Строгальные резцы по конструкции подобны токарным, но при прочих равных условиях имеют большее поперечное сечение, так как работают с переменной нагрузкой (с ударами). Для обработки стальных отливок строгальные резцы делают обычно изогнутыми (рис. 2.52), чтобы при встрече с твердыми включениями резец, отгибаясь, не врезался в уже обработанную поверхность.

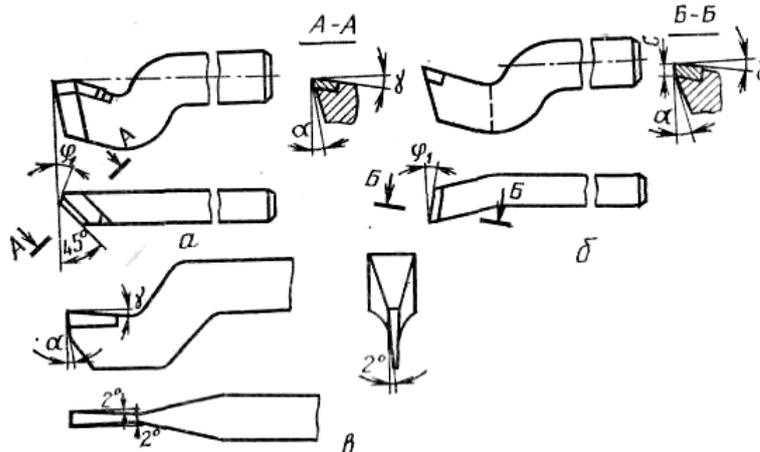


Рис. 2.52. Строгальные резцы: а – проходной; б – подрезной; в – отрезной

Это предохраняет резец от выкрашивания и сохраняет качество обработанной поверхности. По назначению различают следующие типы строгальных резцов: проходные, подрезные, отрезные и фасонные.

На рис. 2.53 показаны проходной и прорезной долбежные резцы. У долбежного резца поверхность А является передней поверхностью, поверхность Б – задней. Геометрические

параметры режущей части строгальных резцов выбираются такими же, как и для токарных резцов.

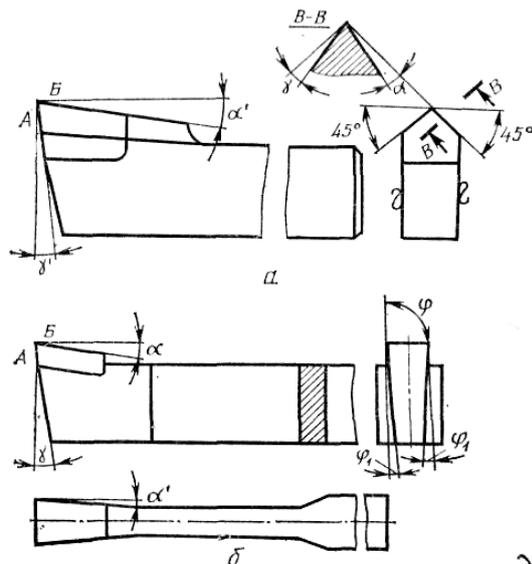


Рис. 2.53. Долбежные резцы; а – проходной; б – прорезной.

Глубина резания t при строгании равна толщине срезаемого слоя за один проход резца. При долблении глубина резания равна ширине резца. Подача s при строгании на поперечно-строгальном станке и долблении – величина перемещения детали в миллиметрах за один ход резца (мм/дв. ход). На продольно-строгальных станках главное движение имеет стол с деталью, а движение подачи – резец. Отсюда подача для продольно-строгального станка – перемещение резца в миллиметрах за двойной ход стола. Скорость резания v – средняя скорость рабочего хода резца (или детали при продольном строгании) в метрах в минуту.

Основное (машинное) время (мин) при строгании

$$T_{\text{маш}} = \frac{(B + B_1 + B_2) i}{n \cdot s}$$

где B – ширина детали, мм; B_1 – длина врезания, мм, $B_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$; B_2 – перебеж резца, равный 2...5 мм; n – число двойных ходов резца или стола в минуту; i – число проходов.

На рис. 2.54 приведена схема сил, действующих на строгальный резец.

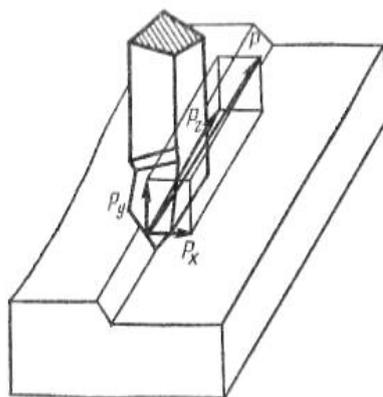


Рис. 2.54. Схема сил, действующих на строгальный резец.

Силы резания при строгании (и долблении) зависят от тех же факторов, что и при точении, подсчитываются по аналогичным формулам.

Глубину резания при черновом и получистовом строгании определяют в зависимости от припуска на обработку.

Подачу выбирают максимально допустимую по техноогическим требованиям (в зависимости от требований, шероховатости обработанной поверхности, прочности державки резца, прочности станка и др.).

Скорость резания (м/мин) – $v = C_p / T^m \cdot t^x \cdot s^y$.

В эту формулу вводят дополнительный поправочный коэффициент на тип станка (для продольно-строгальных – 1,0; для поперечно-строгальных – 0,8; для долбежных – 0,6). По найденной скорости резания определяют число двойных ходов резца. Согласно паспорту станка принимают ближайшее меньшее значение двойных ходов в минуту и затем определяют фактическую среднюю скорость резания. Выбранный режим проверяют по мощности. Мощность резания N_p (кВт) должна быть меньше или равна мощности на ползуне станка:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \leq N_n = N_s \eta$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; v – средняя скорость рабочего хода, м/мин; N_s – мощность электродвигателя станка; η – КПД станка.

Обработка протягиванием, инструмент и станки. Точность обработки и шероховатость поверхности.

Протягивание применяется в серийном и массовом производствах для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, наружных поверхностей и режущих тел вращения. Метод высокопроизводительный, поскольку полная обработка изделия производится за один проход инструмента.

Инструментами служат протяжки и прошивки.

Протяжки протягиваются через обрабатываемое изделие, а прошивки продавливаются (прошиваются) через него. Протягивание обеспечивает точность размеров по 6...9 качеству и классу шероховатости обработанной поверхности 6...10 ($Ra = 2,5 \dots 0,08$ мкм).

Протягивание применяется как окончательный вид обработки деталей, обеспечивающий высокую точность размеров и качество обработанных поверхностей.

Конструкция протяжек и их геометрические параметры.

Протяжка представляет собой многолезвийный инструмент, состоящий из следующих основных частей (рис. 2.55 а): l_1 – замковая часть (хвостовик), служащая для закрепления протяжки в суппорте станка; l_2 – шейка; l_3 – передняя направляющая часть, служащая для центрирования обрабатываемой детали в начале резания; по форме поперечного сечения эта часть соответствует профилю предварительно обработанного отверстия; l_4 – режущая часть; каждый режущий зуб больше предыдущего на величину $s_z = 0,01 \dots 0,3$ мм; l_5 – калибрующая часть; имеет 4...8 зубьев одинакового диаметра и предназначена для окончательной зачистки обработанной поверхности, а также является резервом при переточке протяжки; l_6 – задняя направляющая часть, служащая для поддержания протяжки от провисания.

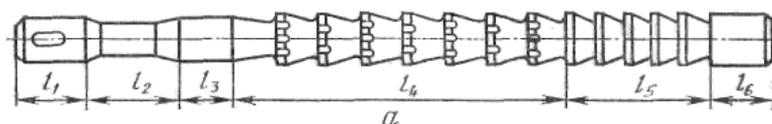


Рис. 2.55. Конструкция протяжки

На рисунке 2.56 показана схема прошивки отверстия. В этом случае инструмент проталкивают на прессе через отверстие по направлению стрелки. В отличие от протяжки прошивка работает не на растяжение, а на сжатие. Прошивки обычно короче протяжек: их длина не превышает 15 диаметров отверстия.

Главным движением является движение протяжки, а скорость его – скоростью резания. Движение подачи отсутствует. Срезание припуска обеспечивается увеличением размера (подъемом) зубьев: каждый последующий зуб выше предыдущего на величину подачи s_z . Глубиной резания при протягивании является ширина обрабатываемой поверхности или периметр обрабатываемого отверстия. Срезание припуска производится последовательно (последовательно) режущими зубьями протяжки (рис. 2.57).

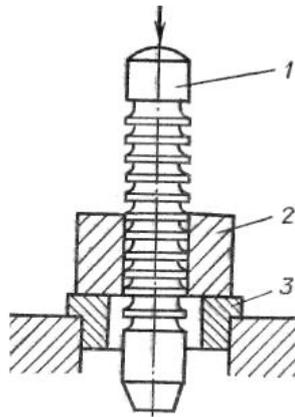


Рис. 2.56. Схема прошивки отверстия: 1 – прошивка (инструмент); 2 – обрабатываемая деталь; 3 – упорная втулка.

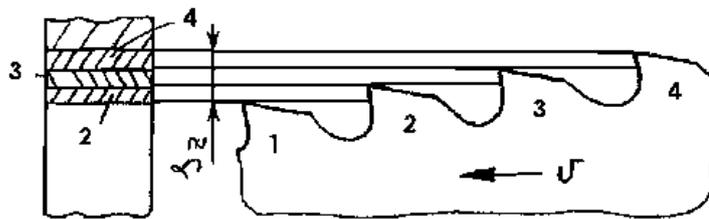


Рис. 2.57. Схема срезания припуска при протягивании.

Из этого рисунка видно, что первый зуб не срезает припуск, так как его размер меньше размера отверстия протягивания. Второй зуб срезает слой припуска, расположенный против этого второго зуба и обозначенный цифрой 2. Третий зуб срежет слой 3 так далее. Последние зубья протяжки имеют одинаковый размер и потому срезания припуска не производят, а лишь зачищают поверхность и калибруют ее. Эти зубья называются калибрующими.

В отличие от режущих зубьев, калибрующие зубья имеют на задней поверхности фаску f (рис. 2.58). Величина переднего угла назначается в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах $10...15$ градусов. Задний угол режущих зубьев делается $3...4$ градуса, а калибрующих 1 градус.

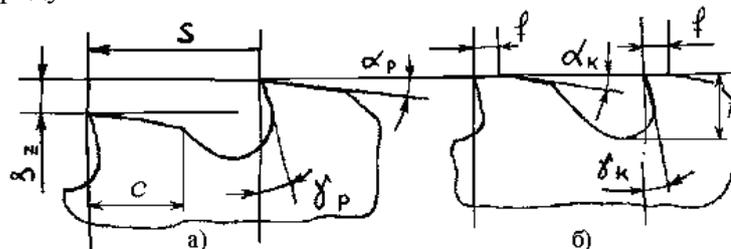


Рис. 2.58. Профиль: а) режущих и б) калибрующих зубьев протяжки.

Размеры зубьев протяжки зависят от длины протягиваемого отверстия.

$$S = 1,25...1,75\sqrt{l_0}; \quad h = 0,35...0,5S; \quad C = 0,25S$$

Число режущих зубьев определяется как частные от деления величины припуска на подъем зуба S_z . Так при протягивании круглого отверстия припуск на сторону «А» равен половине разности диаметров до и после протягивания:

$$A = \frac{D - d_0}{2}, \text{ мм.}$$

Число режущих зубьев Z_p будет:

$$Z_p = \frac{A}{S_z} + 1$$

где: A – припуск на сторону, мм; S_z – подача на зуб (подъем зуба), мм/зуб.

В этой расчетной формуле добавлена единица, так как первый режущий зуб срезания припуска не производит, его размер сделан равным размеру отверстия под протягивание, он сделан на случай отклонения размера этого отверстия.

В процессе резания вся образующая стружка размещается во впадинах между зубьями и никуда не отводится. Поэтому производится проверка протяжки на заполнение впадины. Активная площадь продольного сечения впадины $F_{акт}$ равна площади вписанного в нее круга и должна быть больше площади продольного сечения стружки $F_{стр.}$ в 2,5...4,5 раза. Отношение этих площадей называется коэффициентом заполнения впадины.

$$k = \frac{F}{F_z}; F_{акт} = \frac{\pi h^2}{4}; F_{стр.} = S_z \cdot l_0; k = 2,5...4,5; k = \frac{\pi h^2}{4S_z \cdot l_0},$$

где: h – высота зуба; l_0 – длина обрабатываемого отверстия.

Последовательность срезания припуска определяется конструкцией протяжки и схемой резания.

Типы протягивания, их характеристика.

Различают три схемы резания: профильную, генераторную и прогрессивную. Профильная схема резания предусматривает последовательное срезание припуска зубьями, профиль которых подобен профилю обрабатываемой поверхности. Генераторная схема характеризуется тем, что каждый зуб не повторяет, а формирует (генерирует) профиль обрабатываемой поверхности.

Прогрессивная схема резания заключается в разделении ширины срезаемого слоя между несколькими зубьями одной секции. Высота зубьев одной секции одинакова. Подача на зуб здесь значительно увеличивается. Таким образом, создаются более выгодные условия резания: режущие кромки зубьев проходят в объеме основного не упрочненного слоя обрабатываемого материала и меньше изнашиваются.

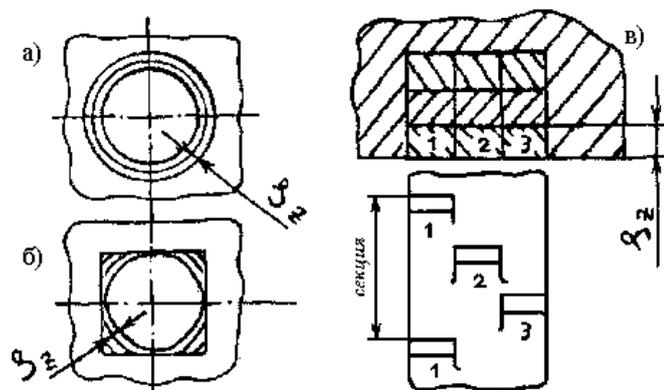


Рис. 2.59. Схемы резания при протягивании: а) профильная, б) генераторная, в) прогрессивная.

Расчет режима резания производится обычным порядком, но глубина резания не выбирается и не назначается, так как она определяется размерами и формой обрабатываемой поверхности. Подача выбирается в таблицах справочников в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах от 0,01 до 0,3 мм. Скорость резания выбирается в справочной литературе или рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{C_v}{Tm \cdot S_z^y}$$

Стойкость протяжек назначается в пределах 100...500 мин. Обычно скорость при протягивании быстрорежущими протяжками находится в пределах от 2 до 10 м/мин., твердосплавные протяжки могут работать со скоростью резания до 20 м/мин.

Сила резания при протягивании рассчитывается по величине длины одновременно работающих режущих кромок зубьев протяжки.

$$P_z = P \cdot \Sigma B; P_z = P_p \cdot Z_{o,p}$$

где: P – сила резания, приходящаяся на 1мм. длины режущего лезвия зуба протяжки; ΣB – общая длина режущих кромок; p – периметр обрабатываемой поверхности; $Z_{o,p}$ – число одновременно работающих зубьев.

$$Z_{o.p} = \frac{l_0}{S}$$

После определения силы резания производится выбор станка и проверка принятой скорости резания по мощности двигателя станка.

$$v_{max} = \frac{60000 \cdot N \cdot \eta}{P_z} \leq v_{np}$$

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{1000 \cdot v} \cdot k$$

где: L – длина рабочего хода протяжки; k – коэффициент, учитывающий время обратного хода протяжки. (k = 1, 2... 1, 5).

Сущность фрезерования. Виды обрабатываемых поверхностей и типы фрез. Геометрические параметры режущей части фрез.

Фрезерование является распространенным видом механической обработки. Фрезерованием в большинстве случаев обрабатываются плоские или фасонные линейчатые поверхности. Фрезерование ведется многолезвийными инструментами – фрезами. Фреза представляет собой тело вращения, у которого режущие зубья расположены на цилиндрической или на торцовой поверхности. В зависимости от этого фрезы соответственно называются цилиндрическими или торцовыми, а само выполняемое ими фрезерование – цилиндрическим или торцовым. Главное движение придается фрезе, движение подачи обычно придается обрабатываемой детали, но может придаваться и инструменту – фрезе. Чаще всего оно является поступательным, но может быть вращательным или сложным.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины.

Фрезерование может производиться двумя способами: против подачи и по подаче (рис. 2.60). Первое фрезерование называется встречным, а второе – попутным. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

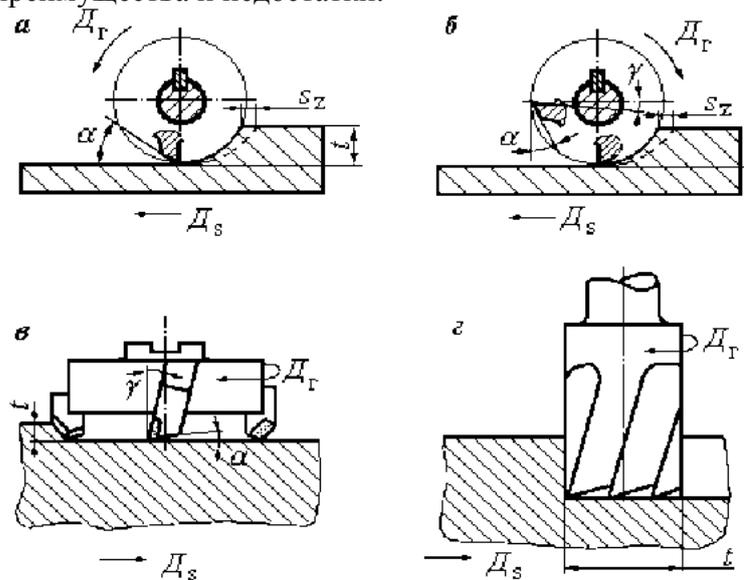


Рис. 2.60. Виды фрезерования: а – против подачи; б – по подаче; в – торцовой фрезой; г – концевой фрезой

Встречное фрезерование является основным. Попутное фрезерование целесообразно вести лишь при обработке заготовок без корки и при обработке материалов, склонных к сильному обработочному упрочнению, так как при фрезеровании против подачи зуб фрезы,

врезаясь в материал, довольно значительный путь проходит по сильно наклепанному слою. Износ фрез в этом случае протекает излишне интенсивно.

При работе торцовыми или концевыми фрезами различают симметричное и несимметричное резание. При симметричном резании ось фрезы совпадает с плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

Основными элементами режима резания при фрезеровании являются глубина резания, подача, скорость резания и ширина фрезерования. Глубиной резания t является толщина слоя металла, срезаемого за один проход. При цилиндрическом фрезеровании она соответствует длине дуги контакта фрезы с обрабатываемым изделием и измеряется в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы, при торцовом – в параллельном.

Под шириной фрезерования B следует понимать ширину обрабатываемой поверхности, измеренную в направлении, параллельном оси вращения цилиндрической или концевой фрезы, а при фрезеровании торцовой фрезой – в перпендикулярном.

Скоростью резания v является окружная скорость режущих лезвий фрезы

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{cm}}{1000}, \text{ м /мин,}$$

где: D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Подачей называется перемещение обрабатываемой заготовки относительно фрезы. При фрезеровании различают три вида подачи: подача на зуб (s_z , мм/зуб) – величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб; подача на оборот фрезы (s_o , мм/об) – величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы; подача в минуту (или минутная подача, s_m , мм/мин) – величина перемещения заготовки в минуту.

Эти подачи связаны между собой зависимостью:

$$s_o = s_z \cdot z; s_m = s_o \cdot n; s_m = s_z \cdot z \cdot n;$$

где: z – число зубьев фрезы, n – частота вращения, об/мин.

Плавность работы фрезы зависит от глубины резания, диаметра фрезы и числа зубьев. Она определяется величиной угла контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой. Углом контакта δ называется центральный угол, соответствующий длине дуги соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой (деталью) (рис. 2.61).

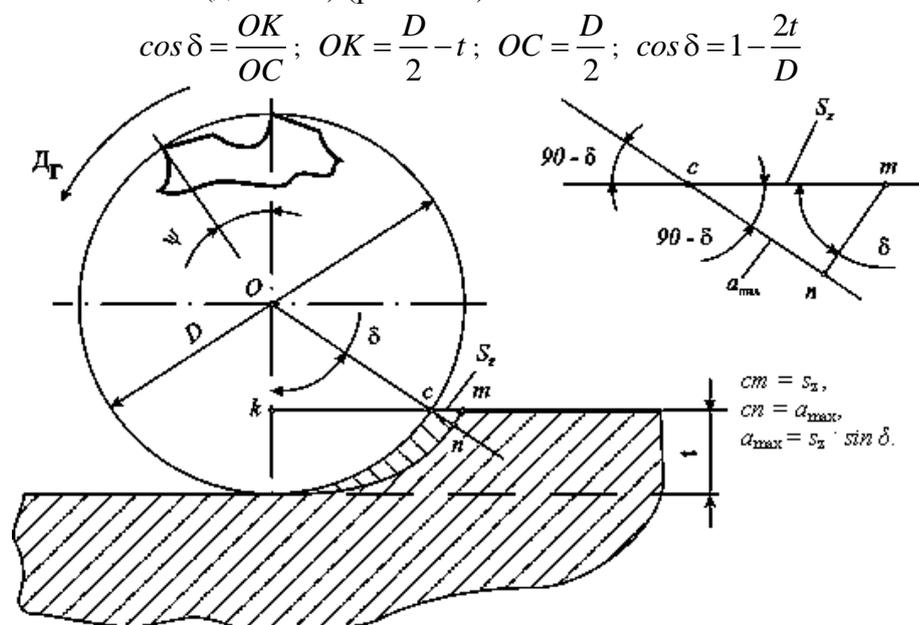


Рис. 2.61. Схема расчета: а) – угла контакта фрезы б) – максимальной толщины стружки атач.

Для обеспечения плавности работы фрезы число одновременно работающих зубьев должно быть не менее двух:

$$Z_{o.p} = \frac{\delta}{\psi} \geq 2; \psi = \frac{360^\circ}{Z}; Z_{o.p} = \frac{\delta \cdot Z}{360^\circ}$$

Толщина среза при фрезеровании переменная, ее величина зависит от подачи на зуб и угла контакта фрезы: $a_{\max} = s_z \cdot \sin\delta$.

При расчете режима резания глубина резания t назначается максимально возможной по условиям жесткости технологической системы, ширина фрезерования B определяется размерами обрабатываемой поверхности. Подача на зуб s_z выбирается по таблицам справочников в зависимости от вида и размеров применяемого инструмента, мощности станка и свойств обрабатываемого материала.

Скорость резания v рассчитывается с учетом величины выбранных элементов режима резания по формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot D^4}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^4 \cdot Z^p} \cdot K_v, \text{ м/мин,}$$

где: C_v – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала; D – диаметр фрезы, мм; T – стойкость фрезы, которая назначается в пределах от 60 до 400 минут в зависимости от вида и размера фрез, мин; z – число зубьев фрезы; S_z – подача на зуб, мм/зуб.

После расчета режима резания определяется главная составляющая силы резания P_z , крутящий момент $M_{кр}$ и потребляемая на резание мощность N :

$$P_z = \frac{10C_v \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^4 \cdot Z}{D^4 \cdot n^y} \cdot K_{MP}, \text{ Н; } M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000}, \text{ Н.м; } N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт}$$

Основное технологическое время t_0 рассчитывается по формуле: $t_0 = L/s_m$, мин, $L = l_1 + l_0 + l_2$. Величина врезания l_1 зависит от диаметра фрезы и глубины резания. Из рис. 2.62 видно,

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - t\right)^2 + l_1^2 \quad \text{откуда } l_1 = \sqrt{t(D-t)}$$

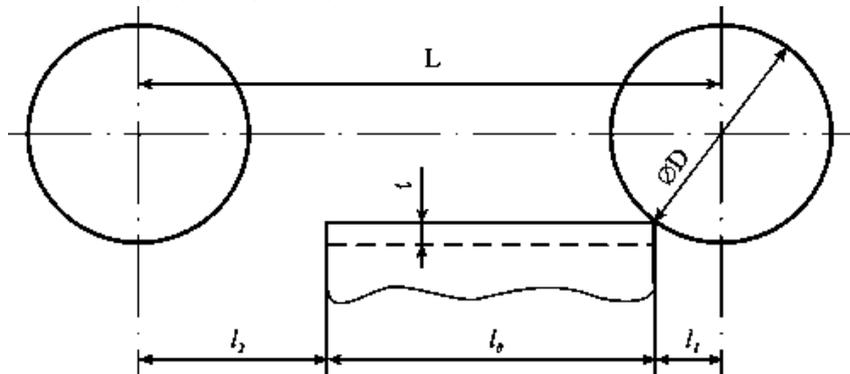


Рис. 2.62. Схема расчета основного технологического времени при фрезеровании.

Величина перебега l_2 назначается в зависимости от размеров обрабатываемого изделия и диаметра фрезы.

Общие сведения. Схемы шлифования, их характеристика. Типы шлифовальных станков.

Шлифование обеспечивает получение высокой чистоты обработанной поверхности и высокой точности размеров обрабатываемых деталей. Шлифование выполняется абразивными инструментами. Абразивный инструмент представляет собой твердое тело, состоящее из зерен абразивного (шлифовального) материала, скрепленных между собой связкой. Значительную часть объема абразивного инструмента занимают воздушные поры. Абразивные инструменты в подавляющем большинстве используются в виде шлифовальных кругов разнообразной формы. Кроме того, они могут использоваться в виде брусков, шкурков, паст и порошков.

Процесс резания при шлифовании можно рассматривать как фрезерование многозубой фрезой с высокой скоростью. Каждое единичное абразивное зерно представляет собой режущее лезвие со случайными геометрическими параметрами, которые зависят не только от формы зерна, но и от положения его в абразивном инструменте. На рис. 2.63. видно, что

наибольший, отрицательный передний угол имеется на зернах со сферической поверхностью.

Каждое единичное зерно срезает стружку очень малого переменного сечения. Обработанная поверхность образуется в результате совокупного действия большого числа абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности абразивного инструмента. Срезаемая в процессе работы круга стружка располагается в порах между зернами. Разогревшаяся до высокой температуры, близкой к температуре плавления обрабатываемого материала, и размягчившаяся стружка забивает поры и налипает на поверхность круга, происходит так называемое «засаливание» его. При этом режущая способность шлифовального круга резко падает, ухудшается чистота и качество обработанной поверхности. Для восстановления режущей способности круга производится его правка, при которой с помощью правочных роликов или алмазных «карандашей» с режущей части круга удаляется поверхностный слой затупившихся и засалившихся зерен.

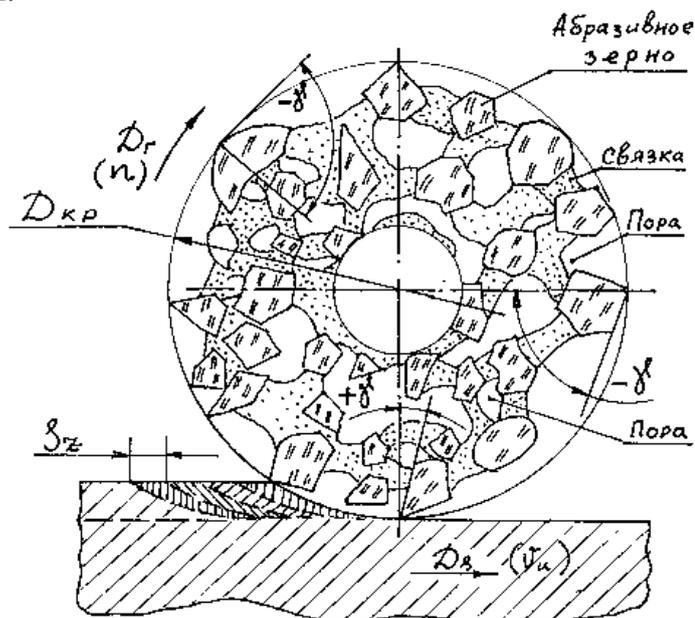


Рис.2.63. Схема резания и расположения абразивных зерен, пор и связки в абразивном инструменте при шлифовании.

Работа единичного зерна.

Определить условия работы единичного зерна, в частности подачу, приходящуюся на одно единичное зерно, можно исходя из тех же соображений, что и при расчете подачи на зуб при вихревом нарезании резьбы. В качестве примера возьмем случай плоского шлифования. В течение одной минуты с обрабатываемой детали срезается слой припуска длиной, равной величине продольной подачи v_u , м/мин. В течение этого времени абразивный круг сделает n оборотов.

Все лежащие на периферийной поверхности круга абразивные зерна при этом принимают участие в срезании припуска. Все абразивные зерна, лежащие в одной общей плоскости, проходящей перпендикулярно оси вращения круга, сделают в течение одной минуты число срезов N равное произведению числа лежащих в этой плоскости зерен и числа, сделанных в течение этой минуты оборотов круга. Число этих оборотов известно — оно равно частоте вращения круга n_k .

При условии расположения абразивных зерен вплотную друг к другу, без свободных промежутков между ними, число зерен лежащих на одной окружности периферийной поверхности круга (в одной плоскости) $Z_{a.z.}$ можно определить, поделив длину окружности периферийной поверхности круга на размер зерна. В действительности абразивный материал занимает лишь долю объема инструмента (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Объемное содержание шлифовального материала в абразивных инструментах.

Номер структуры	1 – 3	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 12	13 – 16
Содержание абразивных зерен, %	60...56	56...54	52...50	48...46	44...38	34...30

Оставшаяся часть объема приходится на занятые воздухом поры и связку, скрепляющую абразивные зерна. Следовательно, и на рабочей, периферийной поверхности абразивные зерна занимают такую же долю площади и в том же соотношении распределяются по окружности в плоскости, нормальной к оси вращения круга.

На рис. 2.63. представлена схема расположения абразивных зерен на поверхности абразивного круга по окружности, лежащей в плоскости перпендикулярной оси вращения круга. Эти зерна последовательно друг за другом срезают припуск по одной линии в направлении продольной подачи. Каждое абразивное зерно вслед за предыдущим срезает стружку, толщина которой соответствует величине подачи на зуб (на зерно) s_z . Таким образом, исходя из вышесказанных соображений:

$$s_z = \frac{v_u}{N}, \text{ мм / зерно}$$

где: s_z – подача на зуб (зерно), мм/зуб; v_u – продольная подача, мм/мин; N – число срезов сделанных в течение одной минуты абразивными зернами, лежащими в одной плоскости на периферийной поверхности абразивного круга; $N = n_{kp} Z$.

$$Z_{a.z} = \frac{\pi \cdot D_{kp} \cdot C}{100 \cdot \delta}$$

где: $Z_{a.z}$ – число абразивных зерен на окружности периферийной поверхности круга в плоскости нормальной к оси его вращения; D_{kp} – наружный диаметр круга, мм; δ – поперечный размер абразивных зерен, мм; C – содержание абразивных зерен, %.

Исходя из этого:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{kp} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{kp}}, \text{ мм / зерно}$$

С целью количественной оценки величины подачи s_z , приходящейся на одно абразивное зерно, проведем ее расчет для произвольно принятых условий шлифования в пределах реально применяемых в практике машиностроения. Предположим, что шлифование плоской поверхности ведется на плоскошлифовальном станке абразивным кругом прямого профиля диаметром $D_{kp} = 200$ мм. с зернистостью шлифовального материала 50, что соответствует размеру абразивных зерен $\delta = 0,5$ мм. Структура круга №3 с объемным содержанием шлифовального материала $C = 50\%$. Примем скорость продольной подачи $v_u = 12$ м/мин., частоту вращения круга $n_{kp} = 2800$ об./мин. Для этих условий:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{kp} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{kp}} = \frac{1000 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,5}{2800 \cdot 50 \cdot \pi \cdot 200}, \text{ мм / зерно}$$

Сущность и особенности электрофизических методов обработки.

В промышленности получают все большее распространение электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Эти методы обработки разделяют на четыре группы. К первой группе относятся электроэрозионные методы обработки токопроводящих материалов, основанные на использовании энергии электрических разрядов, разрушающих обрабатываемый материал (электроискровой и электроимпульсный методы). Вторая группа методов охватывает способы обработки токопроводящих материалов концентрированными лучами с высокой плотностью энергии (свето-лучевая и электронно-лучевая). Третья группа включает методы импульсного ударного воздействия на заготовку частиц абразива с частотой ударов, соответствующей ультразвуковому диапазону (ультразвуковая обработка). В четвертую группу входят методы, основанные на явлении анодного растворения, состоящего в том, что обрабатываемая деталь, подключенная к положительному полюсу-аноду, растворяется.

Электрофизическими и электрохимическими методами обрабатывают детали из материалов с низкой обрабатываемостью резанием (твердые и жаропрочные сплавы, молибденовые, титановые, вольфрамовые и другие специальные сплавы), а также детали с размерами и формами поверхностей, обработка которых обычными механическими методами затруднительна (детали с малыми и криволинейными отверстиями, узкими прорезями, детали с углублениями сложных форм и др.).

Электроискровая и электроимпульсная обработка металлов.

В основу электроискрового и электроимпульсного методов обработки металлов положен процесс электроэрозии, заключающийся в разрушении металла под воздействием электрических разрядов, посылаемых источником электрического тока. Электрические разряды характеризуются малой длительностью (от долей мкс до нескольких сотен мкс), энергией (до 4...5 Дж) и высокой частотой (до $1,5 \dots 10^6$ кГц).

Электроискровая обработка. На рис. 2.64 приведена схема электроискрового метода обработки. При соприкосновении электрода-инструмента 3 с контактом 2 конденсатор 4 разряжается от источника 1.

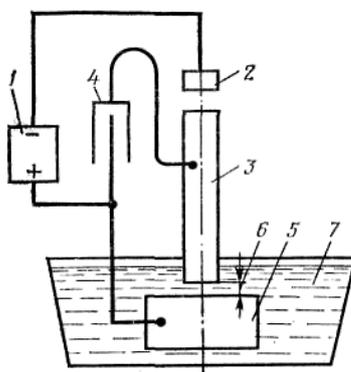


Рис. 2.64. Схема электроискровой обработки металлов.

При перемещении электрода 3 вниз в момент сближения его с электродом-деталью 5 до образования зазора 6, измеряемого в микронах ($0,1 \dots 1$ мкм), происходит разрядка конденсатора в виде кратковременной искровой вспышки между электродами.

Под воздействием высокой температуры, создаваемой электрическими разрядами, возникающими при движении электрода вниз, происходит разрушение металла с образованием углубления в обрабатываемой детали. При этом электрод-инструмент, сохраняя межэлектродный промежуток, постепенно углубляется в обрабатываемую деталь и придает ей форму, соответствующую форме электрода-инструмента.

Электроискровую обработку обычно производят в условиях, когда электрод-деталь включен на анод, а электрод-инструмент – на катод; при этом происходит наиболее быстрое разрушение металла детали. Во избежание переноса расплавленного металла с детали на инструмент процесс обработки производится в диэлектрической жидкости 7 (керосине, машинном масле). В этих условиях расплавленные частицы металла, смываясь жидкостью, остывают в ней и в застывшем состоянии в форме мельчайших шариков падают на дно ванны.

Электроды-инструменты изготовляют из латуни, медно-графитовой массы, меди и других токопроводящих материалов. Производительность электроискровой и электроимпульсной обработок металлов, шероховатость и точность обработанных поверхностей определяются мощностью и длительностью электрических разрядов, т. е. электрическим режимом работы.

Электроискровую обработку проводят на черновых, чистовых и отделочных режимах. Выбранный режим определяет производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности. Рабочее напряжение на электродах $70 \dots 200$ В. При черновом режиме энергия единичного импульса примерно $0,5 \dots 5$ Дж, сила тока в цепи разряда >100 А, емкость конденсаторов >100 мкф. При отделочном режиме энергия единичного импульса $0,005 \dots 0,05$ Дж, сила тока ниже 10 А, емкость конденсаторов менее 10 мкф. Малая мощность

и кратковременность разрядов являются условиями для получения обработанной поверхности до 6...8-го классов шероховатости ($Ra=2,5...0,40$ мкм). При мягком режиме работы уменьшается съем металла. Электроискровым методом можно обрабатывать ограниченную поверхность ($250...1500$ мм²); производительность процесса $35...1200$ мм³/мин.

Электроискровая обработка деталей осуществляется на специальных электроискровых станках, в которых главными элементами являются генератор импульсов и следящее устройство для регулирования устойчивости и мощности разрядов, станина станка, механизмы для перемещения и установки электродов (инструмента и детали), ванна с жидкостью, в которой ведется процесс. Электроискровую обработку применяют для прецизионной обработки небольших деталей топливной аппаратуры (мелкие отверстия, шлифовальные операции), вырезки фасонных контуров твердосплавных вырубных штампов проволочным электродом, деталей радиоэлектронной промышленности. При этом достигается относительная низкая шероховатость поверхности $Ra=1...2,5$ мкм и точность обработки $0,05...0,8$ мм.

Электроимпульсная обработка металлов представляет собой разновидность электроэрозионной обработки. По сравнению с электроэрозионной обработкой процесс характеризуется увеличением мощности единичных разрядов, длительностью импульсов, обратной полярностью (анод – инструмент, катод – заготовка), применением пониженных напряжений и относительно большими значениями средних токов. В результате производительность процесса по сравнению с электроискровой обработкой во многих случаях в 8...10 раз выше. Этот метод позволяет производить обработку на больших площадях (до 240 см²) с высокой производительностью (до 5000 мм³/мин); шероховатость обработанной поверхности на 1...3 класса ниже, чем при обработке электроискровыми методами.

Ультразвуковая обработка материалов.

При ультразвуковом методе обработки материалов инструменту придают колебания высокой частоты (свыше 20 тыс. колебаний в секунду) с небольшой амплитудой ($0,01...0,06$ мм). Жидкость (чаще вода), омывающая инструмент и обрабатываемую деталь, содержит большое количество мелких абразивных зерен, зернистостью $150...180$ мкм. Весовое соотношение абразива к воде от 1:1 до 1:2. Эти зерна под воздействием ультразвуковых колебаний попадают в пространство между электродами и осуществляют съем металла. В качестве абразивных зерен используют кристаллы карбида бора, карбида кремния и другие материалы. Инструменты, имеющие форму в соответствии с формой обрабатываемой поверхности, обычно изготавливают из инструментальной стали.

Для получения ультразвуковых колебаний применяют пьезоэлектрические и магнито-стрикционные преобразователи. Применение пьезоэлектрических преобразователей основано на способности некоторых материалов (кварца, турмалина) изменять свои геометрические размеры (сжиматься и расширяться) под воздействием электрических зарядов. В основу магнито-стрикционного преобразователя положено использование свойств некоторых материалов (никеля, кобальта, пермалоя и др.) деформироваться (сжиматься и расширяться) под воздействием магнитного поля. Трубку из указанных материалов помещают в катушку, через которую проходит переменный ток высокой частоты. Под воздействием магнитного поля геометрические размеры трубки меняются с ультразвуковой частотой. Этот метод чаще используют при обработке сверлением и фрезерованием деталей из стекла и кварца, полупроводников, алмазов, режущих из твердых сплавов и труднообрабатываемых сталей.

Ультразвуковая обработка стальных деталей обеспечивает получение шероховатости поверхности до 9-го класса и точности до 5 мкм. На рисунке 2.65 приведена схема установки с магнито-стрикционным преобразователем. Электрические колебания от звукового генератора 1 усиливаются усилителем 2 и поступают в катушку 6 вибратора 4, который, создавая переменное магнитное поле, заставляет сердечник и инструмент 7 колебаться с высокой частотой. Постоянные магниты 5 получают питание от селенового выпрямителя 3.

Производительность ультразвуковой обработки зависит от обрабатываемого материала и мощности установки. Так, удельная производительность при обработке стекла до 4000 , а твердого сплава до 40 мм³/мин·кВт.

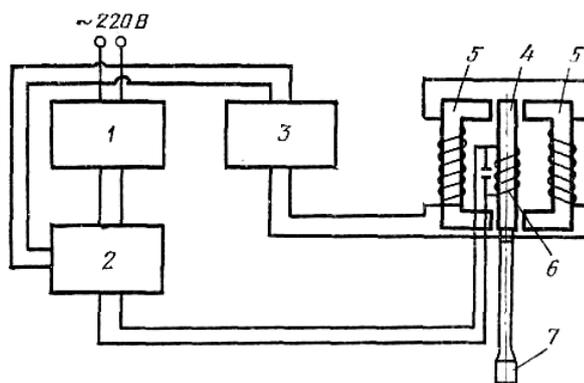


Рис. 2.65. Схема ультразвуковой установки.

ТЕМА 3 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Производственный и технологический процессы. Элементы технологического процесса: операция, установ, позиция, переход, рабочий ход (проход).

Производственный процесс – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий (ГОСТ 14.004 – 83). Он охватывает все стадии производства: от получения материалов (сырье, полуфабрикаты, комплектующие изделия) до готовой продукции и ее упаковки.

Производственный процесс изготовления машины можно разделить на следующие этапы: – изготовление заготовок деталей (отливок из чугуна, сталей и сплавов цветных металлов, поковок и штамповок из стали и сплавов цветных металлов, сортового проката); – обработка заготовок на металлорежущих станках и термообработка заготовок для получения готовых деталей; – сборка сборочных единиц разных порядков и изделия (машины); – регулировка и испытание; – окраска и отделка изделия (машины); – консервация узлов и деталей изделия на период хранения, упаковка в тару и их транспортирование.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (ГОСТ 3.1109 – 82). При этом применительно к механической обработке предусматриваются в основном действия по изменению формы и размера заготовки и частично качества обработанных поверхностей или в связи с сопутствующими резанию явлениями, или путем применения специальных методов механической обработки.

По организации производства различают следующие технологические процессы: единичный (ЕТП) – для изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства; типовой (ТПП) – для изготовления группы изделий с общими конструкционными и технологическими признаками; групповой (ГТП) – для изготовления группы изделий с разными конструкционными, но общими технологическими признаками.

Выделение технологического процесса из общего производственного процесса имеет некоторую условность. Например, установка и снятие детали со станка рабочим – это части технологического процесса, но ее транспортирование в тележке вдоль цеха в технологический процесс не входит, хотя является частью производственного процесса. При измерении детали форма ее не изменяется, однако эту операцию относят к технологическому процессу.

Последовательность прохождения заготовки детали или сборочной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта называется технологическим маршрутом (ГОСТ 14.004 – 83).

Средствами выполнения технологического процесса являются технологическое оборудование, технологическая оснастка, приспособления и инструмент.

Основной задачей производства является выбор такого технологического процесса, который обеспечивает получение изделия (детали), необходимого качества с наименьшими затратами времени и труда, при условии невысокой себестоимости продукции. Технологический процесс состоит из технологических операций, а операции – из технологических переходов, установов, позиций, рабочих и вспомогательных ходов.

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Она может выполняться одним или несколькими рабочими по одновременной обработке одной или нескольких деталей и является основной единицей производственного планирования и учета. На основе ее определяются трудоемкость обработки, необходимое оборудование, приспособления и инструмент.

Технологические операции принято именовать по используемому оборудованию (токарная, сверлильная, шлифовальная и т.д.). Так, например, изготовление вала со шпоночной канавкой состоит из двух операций: токарной (точение вала) и фрезерной (фрезерование шпоночной канавки).

Установ – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок. Например, точение детали типа втулки требует два установка. При установке А обрабатываются поверхности 2 и 1, а при установке Б – 4 и 3, ранее зажатые в патроне (рис. 3.1).

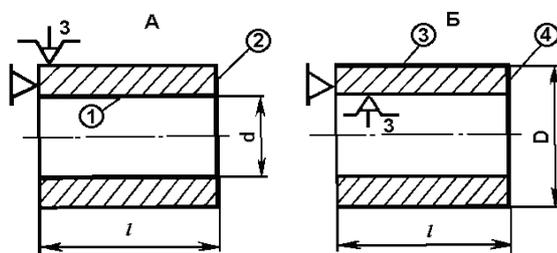


Рис. 3.1. Схема токарной обработки втулки на двух установках.

При выполнении операции заготовка вместе с приспособлением может занимать одно или несколько последовательных положений в пространстве, каждое из которых называют позицией.

Позиция – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции, например, при обработке с использованием многоместных поворотных приспособлений или на многошпиндельных станках. На рис. 3.2 дан пример четырехпозиционной обработки детали на трехшпиндельном вертикально-сверлильном станке. Позиция I служит для установки обрабатываемой заготовки и снятия готовой детали. После каждого рабочего хода (подачи) трехшпиндельной головки заготовка подается на новую позицию. На позиции II производится сверление, на позиции III – зенкерование, на позиции IV – развертывание. Затем на позиции I готовая деталь заменяется заготовкой и цикл обработки повторяется.

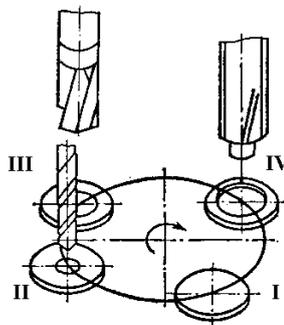


Рис. 1.2. Схема четырехпозиционной обработки на многошпиндельном вертикально-сверлильном станке.

Технологический процесс желательно вести так, чтобы новые установки заменять позициями, так как каждый дополнительный установ вносит излишние погрешности обработки.

Технологический переход – это законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Режим обработки при этом остается неизменным. Изменение хотя бы одного из этих условий приводит к новому переходу. При одном переходе обработка резанием может сопровождаться снятием одного или нескольких слоев материала. Записываются переходы в технологическую карту в повелительной форме, коротко, без ущерба для ясности. Например, при обработке втулки предусматриваются следующие переходы (см. рис. 3.1): 1 – подрезать торец 2; 2 – расточить отверстие 1 окончательно; 3 – подрезать торец 4; 4 – точить поверхность 3 предварительно.

Вспомогательный переход – это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования по установке, закреплению заготовки, смене инструмента и т.д.

Рабочий ход (в технической литературе встречается понятие «проход») – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности. В данном случае имеется в виду перемещение в направлении вспомогательного движения. Переход может быть выполнен в один или несколько рабочих ходов, одним или одновременно участвующими в работе несколькими инструментами.

Основные типы производства.

Проектирование технологических процессов механической обработки деталей и сборки машин выполняют исходя из программы выпуска, включающей установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска на планируемый период времени. С учетом программы выпуска выбирают оборудование, приспособления, инструменты и т.п.

В зависимости от программы выпуска все разнообразные производства делятся на три типа: единичное, серийное и массовое производства (ГОСТ 14.004 – 83). Типы производств нельзя смешивать с термином «вид производства», выделяемым по признаку применяемого метода изготовления изделия (литейное, сварочное и т.д.).

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций ($K_{з.о}$). Это отношение числа всех технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

$$K_{з.о} = O / P ,$$

где O – число различных операций; P – число рабочих мест, на которых выполняются эти операции.

Рабочее место – это часть производственной площади цеха, на которой размещены один или несколько исполнителей работы и обслуживаемая ими единица технологического оборудования, а также оснастка и (на ограниченное время) предметы труда.

Единичное производство (согласно ГОСТ 14.004 – 83 не допускается понятие «индивидуальное») характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска ($K_{з.о} > 40$). Это слабо организованное производство, в котором применяются универсальные металлорежущие станки, стандартные режущие инструменты (сверла, развертки, фрезы, токарные резцы обычных типов и т.п.) и универсальные приспособления (тиски для крепления деталей, угольники, прихваты и т.п.). Специальные инструменты и приспособления не применяют или применяют редко, так как это ведет к значительным затратам, что экономически не оправдывается.

Обработка изделия предусматривается на одном станке. Для единичного производства характерна расстановка оборудования по группам станков, т.е. организуются участки токарных, фрезерных и других станков. Комплект станков подбирается таким образом, чтобы, с одной стороны, можно было применять различные виды обработки, а с другой, – это оборудование должно обеспечивать необходимую на данном предприятии производительность.

Заготовки в процессе обработки переходят с одного станка или участка на другой. Установка и выверка заготовок на станках осуществляется с помощью разметки и универ-

сальных измерительных средств (штангенциркулей, микрометров, нутромеров, индикаторов и т.п.), которыми также контролируют точность изготовления детали.

При единичном производстве требуется, как правило, высокая квалификация и универсальность рабочих. Производительность же труда при этом сравнительно низкая, а себестоимость изделия выше, чем при других типах производства.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии и коэффициента закрепления операций различают следующие производства: мелкосерийное – $K_{з.о} > 20$ (до 40 включительно), среднесерийное – $K_{з.о} > 10$ (до 20 включительно), крупносерийное – $K_{з.о} > 1$ (до 10 включительно).

Серийное производство является основным типом машиностроительного производства, выпускающим примерно 75...80% всей продукции машиностроения. В серийном производстве технологический процесс преимущественно дифференцирован, т.е. расчленен на отдельные операции, которые закреплены за определенным рабочим местом. Поэтому производство этого типа характеризуется необходимостью периодической переналадки технологического оборудования при переходе на изготовление деталей другой партии.

Выполнение различных операций требует использования универсальных специализированных, специальных автоматизированных, агрегатных металлорежущих станков, оснащенных универсальными, универсально-сборными и специальными приспособлениями. Здесь же широко применяются специализированный и специальный режущий, а также измерительный (калибры, шаблоны и пр.) инструменты.

Для мелкосерийного производства, как и для единичного, характерна групповая расстановка оборудования. При среднесерийном производстве применяется предметная форма организации производства (участки обработки валов, шестерен, втулок) или образуются переменнo-поточные линии, предназначенные для обработки деталей определенного типа, близких по конфигурации, размерам и характеру обработки. В этом случае обработка каждой партии деталей организуется по принципу непрерывного потока. В серийном производстве средняя квалификация рабочих ниже, чем в единичном производстве.

Крупносерийное производство мало чем отличается от массового. Как в одном, так и в другом широко применяется поточная организация производства. Она характеризуется расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса с определенным интервалом выпуска изделий. Основным элементом поточного производства является поточная линия, на которой расположены рабочие места.

Для передачи предмета труда с одного рабочего места на другое применяются специальные транспортные средства (автоматический конвейер, наклонные плоскости, тельферы и т.п.). Примерами непрерывно-поточного производства являются автоматические станочные линии и сборочные конвейеры в автотракторостроении, приборостроении, на подшипниковых заводах и др.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция ($K_{з.о} = 1$). При непрерывном поточном производстве время на каждую операцию равно или кратно такту. В крупносерийном и массовом производствах требуется невысокая квалификация операционных рабочих и высокая квалификация наладчиков.

Вышеуказанное деление производства на единичное, серийное и массовое носит условный характер. Иногда бывает трудно установить границы между ними. Указанное деление осуществляется по преобладающему виду производства на данном заводе.

В зависимости от типа производства при проектировании технологического процесса производится выбор заготовки, технологического оборудования и оснастки. При технической эксплуатации и ремонте автомобильного транспорта и сельскохозяйственной техники

наиболее распространено единичное и мелкосерийное производство. Это в значительной мере учтено в дальнейшем изложении материала. Однако, с целью повышения информативности пособия, некоторые вопросы рассматриваются с учетом всех типов производств.

Нормирование технологического процесса. Общие определения.

При серийном производстве норма времени на всю операцию, или штучно-калькуляционное время $T_{шт.к}$ (мин), рассчитывается по формуле

$$T_{шт.к} = \frac{T_{п.з}}{n_D} + \sum T_{шт}$$

где $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на ознакомление с технологическим процессом изготовления детали, получение заготовок, подготовку инструментов, приспособлений, наладку станка, пробную обработку заготовки, сдачу готовых деталей, мин; n_D – количество деталей в партии, обрабатываемых по неизменной технологии (оно указывается в задании на проектирование); $T_{шт}$ – норма штучного времени, мин; рассчитывается на каждый переход по формуле

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{об} + T_e$$

где T_o – основное (технологическое) время, затрачиваемое на непосредственное осуществление технологического процесса, т. е. на изменение формы, размеров и качества обрабатываемой поверхности заготовки (при станочной обработке резанием оно может быть машинным и машинно-ручным), мин; T_b – вспомогательное время, затрачиваемое рабочим на действия, обеспечивающие выполнение основной работы, т. е. на установку и снятие заготовки, управление станком, измерения, снятие пробной стружки и т. д., мин; $T_{об}$ – время на техническое и организационное обслуживание рабочего места, затрачиваемое на смену инструментов, правку шлифовального круга, подналадку станка, раскладку и уборку инструментов, уборку стружки и рабочего места, мин; T_e – время на естественные надобности рабочего и перерывы на отдых, мин.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем: $T_{оп} = T_o + T_b$. Сумма времени на обслуживание рабочего места и на естественные надобности является дополнительным временем: $T_{доп} = T_{об} + T_e$.

Основное время.

Основное время определяется расчетным путем для каждого перехода. Для большего понимания материала рассмотрим определение основного времени для наиболее встречающихся операций более подробно. Для точения, растачивания, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, строгания оно рассчитывается по формуле

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot \frac{h}{t} = \frac{l + l_1 + l_2}{S \cdot n} \cdot i, \text{ мин}$$

где S – подача, мм/об (мм/дв.х. при строгании); h – припуск на обработку, мм; $i = h / t$ – число рабочих ходов (проходов); $L = l + l_1 + l_2$ – расчетная длина обработки, т.е. путь перемещения режущего инструмента в направлении подачи, мм; l – длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи (берется из чертежа детали), мм; l_1 – путь врезания режущего инструмента, мм. Для вышеперечисленных видов обработки

$$l_1 = t \cdot ctg\varphi = \frac{t}{tg\varphi}, \text{ мм}$$

где t – глубина резания, мм; φ – главный угол в плане; l_2 – величина перебега режущего инструмента принимается в пределах 1...3 мм в зависимости от диаметра (длины при строгании) обрабатываемой поверхности или режущего инструмента (сверла, зенкера и др.). При обработке «в упор» принимают $l_2 = 0$.

Для обеспечения свободного подхода инструментов к обрабатываемой поверхности величина врезания l_1 увеличивается на 0,5...2 мм. Для строгания, чтобы не спутать длину обрабатываемой поверхности в направлении главного движения с длиной (шириной) ее в направлении подачи, вместо L, l, l_1, l_2 вводят соответственно обозначения B, b, b_1, b_2 . Тогда:

$$T_o = \frac{B}{S_{II} \cdot n_{\text{об.ход}}} \cdot \frac{h}{t} = \frac{b + b_1 + b_2}{S_{II} \cdot n_{\text{об.ход}}} \cdot i, \text{ мин}$$

Для нарезания резьбы метчиками и плашками

$$T_o = \frac{1,8L}{S \cdot n} \cdot i = \frac{1,8(l + l_1 + l_2)}{S \cdot n} \cdot i, \text{ мин}$$

где 1,8 – коэффициент, учитывающий разность частот вращения прямого и обратного хода; l_1 – величина врезания принимается равной 1...3 шагам нарезаемой резьбы; l_2 – величина перебега – 2...3 шага.

Для фрезерования

$$T_o = \frac{L}{V_s} \cdot \frac{h}{t} = \frac{l + l_1 + l_2}{V_s} \cdot i, \text{ мин}$$

где V_s – скорость подачи, мм/мин.

При фрезеровании цилиндрическими, дисковыми и концевыми фрезами

$$l_1 = \sqrt{t \cdot (D - t)} + (0,5...3), \text{ мм}$$

При симметричном фрезеровании торцовыми фрезами

$$l_1 = 0,5 \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) + (0,5...3), \text{ мм}$$

где D и B – соответственно диаметр фрезы и ширина фрезерования, $l_2 = 1...4$ мм в первом случае и $l_2 = 3...8$ мм – во втором.

Для фрезерования зубчатых колес модульными фрезами на фрезерных станках

$$T_o = \left(\frac{L}{V_s} + \frac{L}{V_{3X}} + T_{B,д} \right) \cdot Z_d, \text{ мин}$$

где V_{3X} – скорость движения подачи холостого (обратного) хода, мм/мин; $T_{B,д}$ – время, затрачиваемое на одно деление, мин; Z_d – число зубьев фрезеруемого колеса.

Для круглого центрового шлифования методом продольной подачи

$$T_o = \frac{L \cdot K_n}{n_3 \cdot S_{III} \cdot S_B} \cdot \frac{h}{S_B} = \frac{(l + l_1 + l_2) \cdot K_n}{n_3 \cdot S_{III}} \cdot i, \text{ мин}$$

где L – длина продольного хода стола, мм; n_3 – частота вращения заготовки, мин^{-1} ; S_{III} – продольная подача заготовки, мм/об; S_B – вертикальная подача круга (если подача осуществляется на каждый ход стола, то в знаменатель формулы следует добавить число 2), мм/дв. х.

При шлифовании с выходом круга в обе стороны $l_1 + l_2 = 0$, при выходе круга только в одну сторону $l_1 + l_2 = 0,5B_K$ (B_K – ширина (высота) шлифовального круга в мм), при шлифовании без выхода круга $l_1 + l_2 = -B_K$.

Коэффициент K_n , учитывающий время на создание начального натяга в системе СПИД (станок– приспособление–инструмент–деталь) и шлифование без поперечной подачи (выхаживание), зависит от требуемой точности обработки. Так, для предварительного шлифования принимают $K_n = 1,1...1,3$, для окончательного – $K_n = 1,3...1,7$.

Для круглого наружного шлифования методом поперечной (вертикальной) подачи (врезания)

$$T_o = \frac{L \cdot K_n}{n_3 \cdot S_B}, \text{ мин}$$

где $L = h$ – припуск на обработку, мм; S_B – вертикальная подача, мм на один оборот заготовки.

Для бесцентрового круглого шлифования методом продольной подачи

$$T_o = \frac{L \cdot K_n}{S_{III}} \cdot \frac{h}{t} = \frac{(l + l_1 + l_2)}{S_{III}} \cdot K_n \cdot i, \text{ мин}$$

где $l_1 + l_2 = 5...10$ мм; $K_n = 1,05...2$.

При бесцентровом шлифовании врезанием

$$T_o = \frac{h \cdot K_H}{n_3 \cdot t}, \text{ мин}$$

где h – припуск на обработку, мм; $K_H = 1,2 \dots 1,3$.

Для плоского шлифования периферией круга с прямоугольным столом

$$T_o = \frac{L \cdot B \cdot K_H \cdot h}{V_{cm} \cdot 1000 \cdot S_{II} \cdot n_D \cdot S_B}$$

торцом круга:

$$T_o = \frac{L \cdot K_H}{1000 \cdot V_{cm} \cdot n_D} \cdot \frac{h}{S_B}$$

где B и L – соответственно расчетная ширина и длина шлифуемой поверхности, мм; b и l – ширина и длина шлифуемой поверхности, как и при строгании, мм; n_D – число одновременно шлифуемых заготовок; $V_{ст}$ – скорость перемещения стола (продольная подача), мм/мин; S_{II} – поперечная подача в долях ширины (высоты) шлифовального круга B_K (на одинарный или двойной ход стола с заготовкой) в мм, $S_{II} = (0,2 \dots 0,7) B_K$, мм/дв.ход стола; $B = (b + b_1)$; $b_1 = 5 \dots 6$ мм; $K_H = 1,2 \dots 1,5$;

Путь врезания и перебега круга при свободном его выходе в обе стороны в первом случае $b_1 + b_2 = B_K$, во втором – $l_1 + l_2 = D_K$. B_K и D_K – соответственно ширина (высота) и диаметр шлифовального круга в мм). Для предварительного шлифования периферией круга $K_H = 1,15 \dots 1,35$, окончательного – $K_H = 1,25 \dots 1,5$, при шлифовании торцом круга – соответственно $1,2 \dots 2$ и $1,2 \dots 5$ (в зависимости от требуемой точности обработки).

Вспомогательное время.

Вспомогательное время (мин) определяется на каждый переход. Оно складывается из времени на установку и снятие заготовки $T_{ву}$ (если они должны производиться на данном переходе) и времени $T_{вр}$, связанного с каждым рабочим ходом (проходом):

$$T_B = T_{ву} + T_{вр} \cdot i.$$

Дополнительное время.

Дополнительное время (мин) берется в долях от оперативного времени:

$$T_{доп} = K_{доп} \cdot T_{оп} = K_{доп} (T_o + T_B)$$

В зависимости от вида станков принимают значения $K_{доп}$: сверлильные – 0,06; фрезерные – 0,07; токарные и зубообрабатывающие – 0,08; строгальные и шлифовальные – 0,09.

Штучно-калькуляционное время.

Штучно-калькуляционное время, рассчитывается на всю операцию после определения суммы штучного времени по всем переходам данной операции ($\Sigma T_{шт}$).

Числовые значения параметров технологического процесса для некоторых видов обработки приведены в табл. 3.1 – 3.13. Для работ, связанных с заменой установочных приспособлений в процессе выполнения обработки, значения, приведенные в таблице, следует увеличить в $1,2 \dots 1,5$ раза.

Таблица 3.1 – Вспомогательное время $T_{ву}$ на установку и снятие заготовки без выверки на токарных станках, мин

Способ установки (крепления) заготовки	Масса заготовки не более, кг				
	1	3	5	10	>10
В самоцентрирующем патроне	0,38	0,55	0,68	0,94	1,70
То же с поджатием задним центром	0,49	0,66	0,80	1,06	1,75
В четырехкулачковом несамоцентрирующем патроне		0,95	1,05	1,32	1,92
То же с поджатием задним центром		1,10	1,30	1,65	2,30
В центрах с хомутиком	0,33	0,55	0,62	0,76	1,60
В центрах с люнетом	0,58	0,68	0,74	0,96	1,82
На планшайбе	1,10	1,30	2,30	2,55	3,20

Таблица 3.2 – Вспомогательное время $T_{ВР}$, связанное с рабочим ходом (проходом) на токарных станках, мин

Содержание перехода	Высота центров, мм		
	150	200	300
Обточка или расточка по 8...9-му квалитетам точности	0,7	0,8	1,0
Обточка или расточка по 11...13-му квалитетам точности	0,4	0,5	0,7
Обточка или расточка предварительная	0,1	0,2	0,3
Подрезка или отрезка	0,1	0,2	0,2
Обработка фасок, радиусов, галтелей	0,06	0,07	0,08
Нарезание резьбы резцом	0,03	0,04	0,06
Нарезание резьбы метчиком или плашкой	0,2	0,2	0,25
Сверление и центровка	0,5	0,6	0,9

Таблица 3.3 – Вспомогательное время $T_{ВУ}$ на установку и снятие заготовки без выверки на строгальных станках, мин

Способ установки и крепления заготовки	Масса заготовки не более, кг				
	3	5	10	30	50
В тисках с винтовым зажимом	0,30	0,32	0,40	0,50	
В тисках с пневматическим зажимом	0,20	0,23	0,33	0,38	
На угольнике с креплением болтами и планками		2,15	2,80	4,60	5,20
На столе с креплением болтами и планками	0,70	0,80	1,00	1,90	2,30
С боку стола с креплением болтами и планками	0,80	1,05	1,30	2,40	2,90

Таблица 3.4 – Вспомогательное время $T_{ВР}$, связанное с рабочим ходом (проходом) при строгании, мин

Содержание перехода	Время на один рабочий ход
Строгание по 8...9-му квалитетам точности	1,2
Строгание по 11...13-му квалитетам точности	0,8
Строгание предварительное	0,3

Таблица 3.5 – Вспомогательное время $T_{ВУ}$ на установку и снятие заготовки на сверлильных станках, мин

Способ установки и крепления заготовки	Масса заготовки не более, кг				
	3	5	8	12	20
В тисках с винтовым зажимом	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
В тисках с пневматическим зажимом	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
На столе без крепления	0,12	0,14	0,15	0,17	0,2
На столе с креплением болтами и планками	0,95	1,0	1,2	1,4	1,6
В самоцентрирующем патроне	0,18	0,2	0,24	0,28	0,35
В кондукторе	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3

Таблица 3.6 – Вспомогательное время $T_{ВР}$, связанное с рабочим ходом (проходом) на сверлильных станках, мин

Вид и условия обработки	На первое отверстие		На каждое последующее отверстие того же диаметра			
	Для станков с наибольшим диаметром сверления, мм					
	12	25	50	12	25	50
Сверление по разметке	0,12	0,14	0,16	0,05	0,06	0,07
Сверление по кондуктору	0,10	0,12	0,13	0,04	0,05	0,06
Рассверливание, зенкерование	0,08	0,10	0,12	0,03	0,04	0,05
Развёртывание	0,10	0,12	0,15	0,04	0,05	0,07

Таблица 3.7 – Вспомогательное время $T_{ВУ}$ на установку и снятие заготовки на фрезерных станках, мин

Способ установки и крепления заготовки	Масса заготовки не более, кг				
	1	3	5	10	20
В центрах	0,2	0,5	0,6	0,7	1,0
В самоцентрирующем патроне	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
В тисках с простой выверкой	0,3	0,6	0,7	0,8	1,0
В тисках с выверкой средней сложности	0,4	0,9	1,2	1,5	2,0
На призмах	0,6	1,0	1,3	1,6	2,1
На столе с простой выверкой	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8
На столе с выверкой средней сложности	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2

Таблица 3.8 – Вспомогательное время $T_{вр}$, связанное с рабочим ходом (проходом) при фрезеровании, мин

Содержание перехода или рабочего хода	Время на один рабочий ход
Обработка плоскостей	
На первый рабочий ход с пробной стружкой	0,7
На последующие рабочие ходы	0,1
Обработка пазов	
На первый рабочий ход с пробной стружкой	0,8
На последующие рабочие ходы	0,2

Таблица 3.9 – Вспомогательное время $T_{ву}$ на установку и снятие заготовки на шлифовальных станках, мин

Способ установки и крепления заготовки	Масса заготовки не более, кг					
	1	3	5	10	18	30
В центрах	0,2	0,4	0,5	0,6	1,0	2,2
В центрах с люнетом	0,5	0,7	0,8	0,9	1,2	2,4
В центрах на оправке	1,4	1,5	2,0	3,0		
В самоцентрирующем патроне	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,5
В несамоцентрирующем патроне	0,6	1,0	1,4	2,0	2,6	4,0
На магнитном столе	0,2	0,21	0,22	0,25	0,32	
В тисках без выверки	0,27	0,29	0,32	0,41	0,56	2,2
В тисках с выверкой	0,47	0,50	0,55	0,65	0,85	2,8

Таблица 3.10 - Вспомогательное время $T_{вр}$, связанное с рабочим ходом (проходом) при шлифовании, мин

Характер обработки	Круглое шлифование		Плоское шлифование	
	Высота центров не более, мм		Длина (диаметр) стола, мм	
	200	300	до 1000	до 1500
Первый рабочий ход при шлифовании первой поверхности	1,0	1,2		
Первый рабочий ход при шлифовании других поверхностей на этой заготовке	0,55	1,70		
На каждый последующий рабочий ход	0,04	0,05		
Предварительное шлифование			0,25	0,31
Окончательное шлифование			0,60	0,66

Таблица 3.11 – Основное время T_o (примерно) на точение и растачивание фасок, мин

Диаметр обрабатываемой поверхности не более, мм	Ширина фаски не более, мм			Диаметр обрабатываемой поверхности не более, мм	Ширина фаски не более, мм		
	1	2	3		1	2	3
20	0,006	0,012	0,02	160	0,052	0,112	0,18
40	0,012	0,028	0,04	180	0,06	0,124	0,20
60	0,019	0,04	0,07	200	0,064	0,140	0,24
80	0,024	0,056	0,09	220	0,072	0,152	0,25
100	0,032	0,068	0,11	240	0,076	0,168	0,27
120	0,04	0,084	0,14	260	0,08	0,180	0,30
140	0,044	0,096	0,16	280	0,10	0,192	0,33

Таблица 3.12 – Основное время T_o (примерно) на зацентровку заготовок центровочными комбинированными сверлами, мин

Интервал диаметров заготовок, мм	4...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260
Диаметр сверла, мм	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
Глубина сверления, мм	2,9	4,6	5,8	6,8	8,5	11,2	14,0	16,8	22,0
Основное время, мин	0,24	0,37	0,41	0,43	0,52	0,62	0,70	0,76	0,88

Таблица 3.13 – Подготовительно-заключительное время $T_{ПЗ}$ при работе на металлорежущих станках

Вид станков, способ установки и закрепления заготовки		Время, мин	
Токарные		Высота центров, мм	
Сложность подготовки к работе	Количество инструментов при накладке	200	300
Простая (болты, гайки, втулки)	1...2	7	9
	3...4	9	11
Средней сложности (валики, фланцы и др.)	3...4	10	12
	5...6	12	15
	7...9	15	17
Сложная (корпусные детали и др.)	6...8	20	23
	9...12	23	27
Строгальные			
В тисках с винтовым зажимом		10	
В тисках с пневматическим зажимом		8	
На угольнике с креплением болтами и планками		16	
На столе с креплением болтами и планками		14	
С боку стола с креплением болтами и планками		19	
Сверлильные	Диаметр просверливаемого отверстия не более, мм		
	12	20...50	
На столе без крепления		4	
На столе с креплением болтами и планками		5	
В тисках		6	
В самоцентрирующем патроне		8	
В кондукторе		9	
Фрезерные			
		Время, мин	
На столе с креплением болтами и планками		24	
В тисках		22	
В центрах с делительной головкой		28	
В самоцентрирующем патроне		16	
Круглошлифовальные центровые	Высота центров не более, мм		
	150	300	
В центрах		10	
В центрах и люнетах		13	
В самоцентрирующем патроне		11	
В несамоецентрирующем патроне		15	
Круглошлифовальные бесцентровые	Метод шлифования		
	на проход	врезанием	
Со сменой направляющей линейки		20	
Без смены направляющей линейки		13	
Плоскошлифовальные	Длина или диаметр стола не более, мм		
	1000	1500	
На магнитной плите		4	
В тисках		6	

1.3 ТЕМАТИКА РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ

Тема 1.1 Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов. Теория сплавов

- 1 Классификация металлов, их атомно-кристаллическое строение.
- 2 Дефекты кристаллического строения металлов и сплавов.
- 3 Кривые охлаждения и нагрева металлов и сплавов.
- 4 Механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.
- 5 Диаграммы состояния сплавов с механическими смесями, твердыми растворами, химическими соединениями, аллотропическими превращениями.

Тема 1.2 Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны

- 6 Железо и его свойства.
- 7 Диаграмма состояния сплавов железо-цементит.
- 8 Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства сталей.
- 9 Классификация и маркировка углеродистых сталей, их применение в сельскохозяйственном машиностроении.
- 10 Классификация, маркировка и применение легированных сталей.

Тема 1.3 Основы теории и технологии термической обработки

- 11 Классификация видов термообработки.
- 12 Отжиг, нормализация, закалка стали, их разновидности.
- 13 Охлаждающие среды при термообработке.
- 14 Влияние термической обработки на структуру и свойства стали.
- 15 Методы поверхностной закалки стали: индукционным нагревом, газо-пламенным нагревом, нагревом лазерным лучом и др.
- 16 Цементация, азотирование, цианирование, сульфацианирование, диффузное легирование.

Тема 1.4 Инструментальные материалы Цветные металлы и сплавы

- 17 Инструментальные углеродистые стали и легированные стали для режущих, измерительных инструментов.
- 18 Быстрорежущие стали. Их маркировка, особенности термической обработки.
- 19 Маркировка, термическая обработка и применение медных сплавов.
- 20 Маркировка, термическая обработка и применение алюминиевых сплавов.

Тема 1.5 Порошковые и неметаллические материалы

- 21 Применение порошковых материалов в сельскохозяйственном машиностроении.
- 22 Неметаллические материалы и их применение в сельскохозяйственном машиностроении.

Тема 2.1 Основы металлургии и литейное производство

- 23 Основные физико-химические процессы при получении чугуна.
- 24 Способы получения чугуна и ферросплавов.
- 25 Классификация и сущность технологических процессов получения стали в различных печах и устройствах: конвертерах, мартеновских и электрических печах.
- 26 Сущность процессов получения меди, алюминия и титана.
- 27 Технологическая схема получения отливок в разовых песчано-глинистых формах.
- 28 Прогрессивные способы литья: в металлические формы, под давлением, центробежное, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям и др.

Тема 2.2 Обработка металлов давлением

- 29 Использование наклепа для повышения механических свойств деталей: обдувка дробью, обкатка, раскатка, чеканка.
- 30 Холодная и горячая обработка металлов и сплавов давлением.
- 31 Влияние температуры нагрева и химического состава деформируемых материалов и сплавов на их пластичность.

- 32 Основные операцииковки, применяемое оборудование, приспособления, инструменты и технологии.
- 33 Основные операции объемной и листовой штамповки, ее применение.

Тема 2.3 Сварочное производство

- 34 Физические, химические и металлургические процессы при сварке плавлением.
- 35 Электрическая сварочная дуга и ее свойства. Особенности горения дуги при постоянном и переменном токе.
- 36 Классификация сварных швов и соединений, условные обозначения на чертежах.
- 37 Сварочные материалы и флюсы. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом.
- 38 Оборудование, аппаратура, приспособления, сварочные материалы и флюсы для газовой сварки.
- 39 Влияние химического состава сталей на их свариваемость.
- 40 Особенности сварки чугуна.
- 41 Сварка алюминия и его сплавов.
- 42 Пайка металлов и сплавов. Сущность процесса, припой и флюсы.

Тема 3.1 Сущность процесса резания и его основные элементы (на примере токарной обработки)

- 43 Геометрические параметры лезвия токарного резца.
- 44 Влияние режимов резания и свойств обрабатываемого материала на вид получаемой стружки.
- 45 Явления, сопровождающие процесс резания металлов (усадка стружки, упрочнение металла, нарост).
- 46 Тепловые явления в процессе резания и их влияние на точность обработки, качество поверхности и режущую способность инструмента.
- 47 Стойкость режущего инструмента и ее связь с производительностью резания.
- 48 Обрабатываемость материалов после закалки, наплавки, осталивания.

Тема 3.2 Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация

- 49 Типы токарных станков, их характеристика.
- 50 Работы, выполняемые на токарных станках (точение цилиндрических, конических, эксцентричных поверхностей, торцов, расточка отверстий, нарезание однозаходных и многозаходных резьб и т.д.).
- 51 Особенности процесса резания при строгании и долблении.
- 52 Работы, выполняемые на строгальных и долбежных станках, применяемые приспособления.
- 53 Схемы и элементы режимов резания при сверлении, зенкерования, развертывании.
- 54 Работы, выполняемые на сверлильных станках, способы крепления деталей, инструмента, применяемые приспособления.
- 55 Режущий инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, зенковки, цековки, развертки), их конструктивные и геометрические параметры.
- 56 Сущность фрезерования. Виды обрабатываемых поверхностей и типы фрез.
- 57 Настройка делительной головки на непосредственное, простое, дифференциальное деление и на фрезерование винтовых канавок.
- 58 Сущность и назначение абразивной обработки деталей. Схемы шлифования, их характеристика.
- 59 Выбор шлифовальных кругов, их испытания, балансировка и правка.

Тема 3.3 Основы технологии машиностроения

- 60 Обеспечение точности механической обработки.
- 61 Проектирование технологических процессов.
- 62 Схемы механической обработки типовых деталей.

1.4 ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Дегтярев, М.Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / М.Г. Дегтярев. – М.: Колос, 2007. – 358 с.
2. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов: учеб. пособие / ред.: В.А. Оськин, В.Н. Байкалова. – М.: КолосС, 2007. – 318 с.
3. Оськин, В.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – М.: КолосС, 2007 – Кн. 1. – 447 с.
4. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов [и др.]; ред. Г.П. Фетисов. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2006. – 862 с.
5. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.Ф. Карпенков [и др.]; ред. Н.М. Щербакова. – М.: КолосС, 2006 – Кн. 2. – 305 с.
6. Материаловедение: учебник / А.М. Адашкин [и др.]; ред. Ю.М. Соломенцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 456 с.
7. Технология конструкционных материалов: учебник / О.С. Комаров [и др.]; ред. О.С. Комаров. – Минск: Новое знание, 2005. – 559 с.
8. Технология конструкционных материалов: учебник / А.М. Дальский [и др.]; ред. А.М. Дальский. – 6-е изд., испр. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.
9. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов [и др.]; ред. Г.П. Фетисов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 862 с.
10. Савенок, Л.И. Обработка заготовок деталей машин резанием. (Проектирование технологического процесса): учеб. пособие / Л.И. Савенок. – Горки: БГСХА, 2004. – 124 с.

Дополнительная

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Словарь терминов: учеб. пособие / В.А. Оськин, В.Ф. Карпенков, В.В. Стрельцов; ред. В.А. Оськин. – М.: КолосС, 2007. – 55 с.
2. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.В. Синюхин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 287 с.
3. Пейсахов, А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для студентов немашиностроительных специальностей / А.М. Пейсахов, А.М. Кучер. – 3-е изд. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2005. – 410 с.
4. Федосов, С.А. Основы технологии сварки: учебное пособие / С.А. Федосов, И.Э. Оськин. – М.: Машиностроение, 2011. – 125 с.
5. Калиновский, В.Р. Технологии горячей обработки металлов: учеб. пособие / В.Р. Калиновский, В.М. Капцевич, А.Ф. Ильющенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 352 с.
6. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов: учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Ефремов. – Минск: БГАТУ, 2008. – 644 с.
7. Ящерицын, П.И. Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2007. – 512 с.
8. Фельдштейн, Е.Э. Режущий инструмент: учеб. пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич, М.И. Михайлов. – Минск: Новое знание, 2007. – 400 с.
9. Режущий инструмент. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В.И. Шагун [и др.]; ред. В.И. Шагун. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 191 с.
10. Быковский, О.Г. Справочник сварщика / О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков. – М.: Машиностроение, 2011. – 336 с.
11. Банников, Е.А. Справочник фрезеровщика: справочное издание / Е.А. Банников. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 320 с.

2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 ТЕМАТИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Тематический план проведения лабораторных занятий по учебной дисциплине «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»

Номер темы	Наименование разделов, тем.	Количество часов
1	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	20
<i>1.1</i>	<i>Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов. Теория сплавов</i>	6
1.1.1	Свойства материалов	2
1.1.2	Термический анализ. Построение диаграммы состояния сплавов цинк-олово	4
<i>1.2</i>	<i>Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны</i>	6
1.2.1	Анализ диаграммы состояния сплавов железо-цементит	4
1.2.2	Маркировка и применение сталей и чугунов	2
<i>1.3</i>	<i>Основы теории и технологии термической обработки</i>	4
1.3.1	Термическая обработка углеродистых сталей	2
1.3.2	Определение твердости металлов и сплавов	2
<i>1.4</i>	<i>Инструментальные материалы Цветные металлы и сплавы</i>	4
1.4.1	Инструментальные материалы	2
1.4.2	Маркировка и применение цветных металлов и сплавов	2
2	ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА	16
<i>2.1</i>	<i>Основы металлургии и литейное производство</i>	4
2.1.1	Изучение равновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей и чугунов	2
2.1.2	Изучение неравновесных микроструктур и свойств углеродистых и легированных сталей	2
<i>2.2</i>	<i>Обработка металлов давлением</i>	2
2.2.1	Оборудование дляковки и штамповки	2
<i>2.3</i>	<i>Сварочное производство</i>	10
2.3.1	Оборудование электродуговой сварки	2
2.3.2	Оборудование газовой сварки	2
2.3.3	Построение вольт-амперных характеристики сварочной дуги и источника сварочного тока	2
2.3.4	Методика проектирования технологического процесса сварки	4
ИТОГО ПО 1 СЕМЕСТРУ		36
3	ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ	36
<i>3.1</i>	<i>Сущность процесса резания и его основные элементы (на примере токарной обработки)</i>	6
3.1.1	Типы, конструкция и назначение резцов. Замер геометрических параметров	4
3.1.2	Исследование влияния режима обработки на вертикальную составляющую силы резания при точении	2

3.2	<i>Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация</i>	22
3.2.1	Типы, конструкция и назначение многолезвийных режущих инструментов Замер геометрических параметров	2
3.2.2	Устройство, кинематика и настройка делительных головок	2
3.2.3	Абразивные материалы и инструменты	2
3.2.4	Установка и правка абразивных кругов. Заточные станки и заточка инструментов	2
3.2.5	Электрофизические способы обработки деталей	1
3.2.6	Устройство, назначение, кинематика станков 2А125 и 7307ГТ	4
3.2.7	Устройство, назначение, кинематика и настройки токарно-винторезного станка	4
3.2.8	Фрезерные и зубофрезерные станки. Настройка станка 6Н81 на фрезерование зубчатого колеса с винтовым зубом	2
3.2.9	Проверка токарного станка на точность	1
3.2.10	Устройство, настройка шлифовальных станков	2
3.3	<i>Основы технологии машиностроения</i>	8
3.3.1	Методика разработки маршрутной и операционной технологии изготовления несложной детали	8
ИТОГО ПО 2 СЕМЕСТРУ		36
ВСЕГО		72

2.2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ

Цель работы: Изучить устройство автоматического рычажного пресса типа ТШ-2 на уровне пользователя. Изучить методику выбора условий испытания (выбор диаметра шарика и нагрузки), порядок подготовки образцов для испытания. Изучить порядок проведения испытания и методику измерения полученного отпечатка и определения твердости. Провести испытания на твердость по Бринеллю образцов сталей и цветных сплавов.

Оборудование, приспособления, материалы: Твердомер Бринелля типа ТШ-2, микроскоп Бринелля типа МП1Б2, коллекция образцов черных и цветных металлов и сплавов разной толщины, переводные таблицы, стандарты на испытания.

1. Теоретическая часть

Перед выполнением работы необходимо изучить: сущность определения твердости металлов методом Бринелля; подбор нагрузки и диаметра шарика; подготовку образца для испытания; принципиальное устройство твердомера Бринелля и порядок работы с прибором.

2. Практическая часть

Проведите испытание на твердость по Бринеллю данных образцов сталей разных марок и сплавов цветных металлов. Условия испытания: нагрузка 3000 кгс, индентер-шарик $d = 10$ мм.

Измерьте полученные отпечатки микроскопом Бринелля. Пользуясь переводными таблицами, определите твердость данных образцов. Полученные результаты занесите в таблицу.

Таблица – Результаты испытаний

№ п/п	Вид материала (марка стали)	Диаметр отпечатка, мм	Твердость НВ

Проанализируйте полученные результаты. Установите зависимость между твердостью сталей и содержанием углерода. На основании полученных результатов постройте график зависимости твердости сталей от содержания углерода.

Прокомментируйте результаты измерения твердости цветных сплавов. Объясните, почему не удалось измерить твердость образцов сплавов алюминия.

Рекомендуйте условия испытания для измерения твердости данных образцов цветных сплавов.

На основании полученных результатов сделайте заключение о влиянии изменявшихся в работе факторов на исследованные параметры.

Сделайте вывод о достоинствах и недостатках метода Бринелля.

ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО РОКВЕЛЛУ

Цель работы: Изучить устройство и принцип работы твердомера Роквелла типа ТК-2 на уровне пользователя. Изучить методику выбора нагрузки и индентера. Изучить порядок подготовки образцов к испытанию. Изучить порядок контроля твердомера перед испытанием. Изучить порядок проведения испытания. Провести испытания на твердость по Роквеллу образцов сталей, цветных и твердых сплавов разных марок.

Оборудование, приспособления, материалы: Твердомер Роквелла типа ТК-2, комплект ЗИП к твердомеру, эталонные бруски, коллекция образцов сталей разных марок в

отожженном и закаленном состоянии, коллекция образцов цветных сплавов, коллекция образцов твердых сплавов разных марок, стандарты на испытание.

1. Теоретическая часть

Перед выполнением работы необходимо изучить: сущность определения твердости металлов методом Роквелла; порядок подбора нагрузки и вида индентера в зависимости от предполагаемой твердости образцов; порядок подготовки образцов для испытания; принципиальное устройство твердомера Роквелла и порядок работы с прибором; порядок контроля твердомера при помощи эталонных брусков.

2. Практическая часть

Провести испытание на твердость данных образцов сталей, цветных и твердых сплавов в соответствии с выбранными условиями испытания. Полученные результаты занесите в таблицу.

Таблица – Результаты испытаний

№ п/п	Вид материала	Вид термической обработки	Шкала	Твердость HR

Проанализируйте полученные результаты испытаний. Установите связь между видами термической обработки и полученными значениями твердости конструкционных и инструментальных сталей разного химического состава. Объясните, почему данные образцы быстрорежущей стали марки P18 имеют различные значения твердости?

Сделайте предположение, почему термически упрочненный образец P18 имеет неудовлетворительное значение твердости. Объясните, почему образец баббита марки Б83 показал твердость, превышающую значения твердости закаленной инструментальной стали?

Рекомендуйте условия испытания для измерения твердости данных образцов цветных сплавов.

На основании полученных результатов сделайте заключение о влиянии изменявшихся в работе факторов на исследованные параметры.

Сделайте вывод о достоинствах и недостатках метода Роквелла.

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЦИНК – ОЛОВО

Введение

Основной задачей данной лабораторной работы является систематизация и закрепление знаний студентов по разделу «Теория сплавов. Диаграмма состояния» при изучении дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов». При ее выполнении студенты должны приобрести практические навыки построения кривых охлаждения и диаграмм состояния двойных сплавов с образованием механических смесей в твердом состоянии.

Цель работы: изучить методику построения термических кривых при кристаллизации чистых металлов и двойных сплавов и определения на них кристаллических точек; освоить методику построения диаграммы состояния двойных сплавов термическим методом.

Материалы и оборудование: чистые металлы (цинк, олово) – по 1 кг; тигли – 6 шт.; электрическая печь; термодары – 6 шт.; устройство для измерения и контроля температуры (УКТ38-Щ4) – 1 шт.; персональный компьютер – 1 шт.

1. Изучение дисциплины

1.1. Общие положения. Термический анализ. Кривые нагрева и охлаждения

Для изготовления деталей машин чистые металлы в большинстве случаев не обладают требуемыми свойствами, поэтому они применяются сравнительно редко. Более широко применяются металлические сплавы.

Сплавы – сложные вещества, получаемые сплавлением или спеканием двух или нескольких простых веществ, называемых компонентами. **Компоненты** сплава образуют фазы. **Фазой** называют однородные части сплава, имеющие одинаковый состав, агрегатное состояние, кристаллическое строение, свойства и отделенные от других частей сплава поверхностями раздела. Под **структурой** понимают форму, размеры и характер взаимного расположения фаз в сплавах.

При переходе сплава из одного состояния в другое (при нагреве или охлаждении) меняется его теплосодержание, т.е. выделяется или поглощается теплота. Термический анализ, используемый в материаловедении, представляет собой метод построения кривых температура – время. Он заключается в регистрации через равные промежутки времени температуры охлаждающегося или нагревающегося вещества.

На рис. 1 показана принципиальная схема установки для исследования металлов и сплавов термическим методом, на рис. 2 – структурная схема и перечень применяемого оборудования установки.

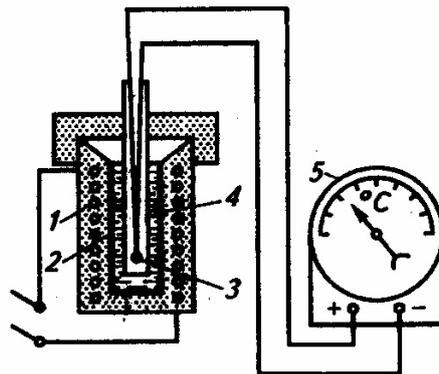


Рис. 1. Схема установки для кристаллизации металлов: 1 – электропечь; 2 – тигель; 3 – термопара; 4 – расплавленный металл или сплав; 5 – милливольтметр.

Результатом термического анализа является графическое изображение наблюдаемых изменений температуры во времени, представляющее собой кривую охлаждения (нагрева) исследуемого вещества.

Если при охлаждении (нагревании) в веществе не происходят внутренние превращения, сопровождающиеся тепловым эффектом, кривая охлаждения (нагрева) имеет вид плавной нисходящей (восходящей) линии (рис. 3). Это характерно для кристаллизации аморфных веществ (парафин, стеарин, воск, смола и др.). Если же в веществе происходят внутренние превращения, на кривой появляются горизонтальные (изотермические) участки или изгибы. На рис. 4 изображена кривая охлаждения чистого металла или сплава эвтектического состава. Точки 1 и 2 являются критическими точками начала и окончания затвердевания (кристаллизации), т.е. процесс кристаллизации идет при постоянной температуре. После окончания кристаллизации (точка 2, рис. 4) никаких внутренних (фазовых) превращений не происходит и кривая охлаждения плавно опускается.

На рис. 5 показана кривая охлаждения доэвтектического (заэвтектического) сплава. В интервале температур 1–2 происходит кристаллизация одного избыточного компонента

сплава. От точки 2 до точки 3 кристаллизуется жидкая фаза эвтектического состава. В точке 3 заканчивается затвердевание (кристаллизация) сплава.

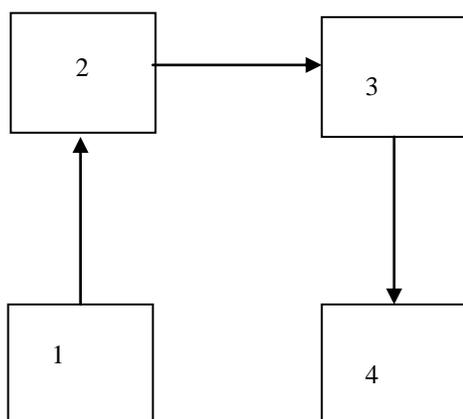


Рис. 2. Структурная схема и перечень применяемого оборудования установки для исследования металлов и сплавов: 1 – термопара (датчик температуры); 2 – устройство для измерения и контроля температуры УКТ38-Щ4; 3 – преобразователь интерфейсов АС3-М; 4 – персональный компьютер.

На рис. 6 изображена кривая охлаждения сплава, кристаллизующегося с образованием твердого раствора в интервале температур 1–2.

Таким образом, на кривых охлаждения можно определить критические температуры, т.е. температуры начала и окончания внутренних (фазовых) превращений. К фазовым превращениям относятся плавление или кристаллизация, перестройка кристаллической решетки вещества (полиморфизм) и др.

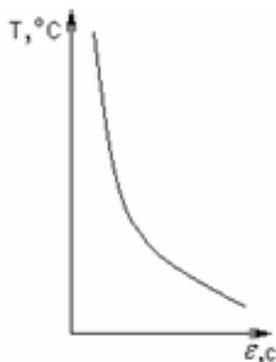


Рис. 3. Кривая охлаждения аморфного вещества.

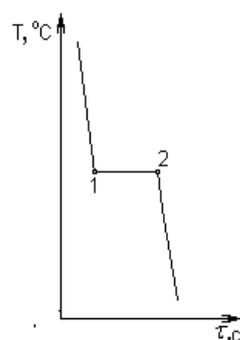


Рис. 4. Кривая охлаждения чистого металла (эвтектического сплава): точка 1 – начало кристаллизации; точка 2 – окончание кристаллизации.

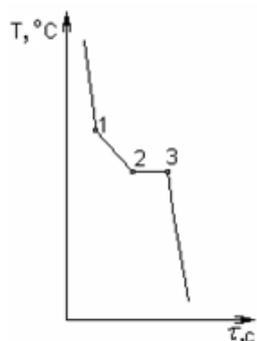


Рис. 5. Кривая охлаждения доэвтектического (заэвтектического) сплава: точки 1 – 2 – интервал кристаллизации избыточного компонента сплава; точки 2 – 3 – кристаллизация эвтектического состава.

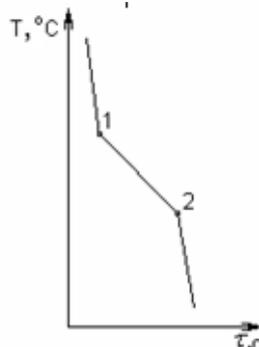


Рис. 6. Кривая охлаждения сплавов с образованием твердого раствора: точка 1 – начало кристаллизации; точка 2 – окончание кристаллизации.

1.2. Характеристика диаграммы состояния двойного сплава олово – цинк

Метод термического анализа посредством изображения кривых охлаждения (нагрева) используется для построения диаграмм фазового состояния систем.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение зависимости значений параметра системы (температуры), определяющего ее фазовое состояние, от содержания компонентов в ней. Диаграмма состояния строится в координатных осях, по которым откладывают температуру ($^{\circ}\text{C}$) и массовую долю компонентов (от 100 % одного до 100 % другого). Точки и линии диаграммы являются геометрическим местом критических температур, фиксируемых на кривых охлаждения, и позволяют определять химическую природу, состав и границы существования равновесных фаз.

Диаграммы состояния широко применяются на практике в материаловедении, химии, металлургии не только для определения фазового состояния системы (например сплава), но и для выбора температуры нагрева сплава при термической и химико-термической обработке, горячем деформировании и т.д.

Термические кривые и диаграмма состояния сплавов системы олово – цинк показаны на рис 7. Линия *ACB* соответствует температурам начала кристаллизации чистых металлов и сплавов при охлаждении или температурам конца их плавления при нагревании; ее называют линией ликвидуса (от лат. liquidus – жидкий). Линию *DCF*, соответствующую температурам конца кристаллизации при охлаждении или температурам начала плавления при нагревании, называют линией солидуса (лат. solidus – твердый).

При температурах выше линии *ACB* (ликвидуса) все сплавы находятся в жидком (однофазном) состоянии, а ниже линии *DCF* (солидуса) – в твердом. При температурах между линиями *ACB* и *DCF* олово, цинк и их сплавы будут находиться в стадии кристаллизации (плавления) и представлены двумя фазами – кристаллами соответствующего чистого металла и жидким сплавом.

Сплав, содержащий 9 % Zn и 91 % Sn (сплав № 2), называют эвтектическим (эвтектика – по-гречески «хорошо построенный»). Он образуется при одновременной кристаллизации двух фаз (цинка и олова) в виде смеси их мелких кристаллов.

Эвтектические сплавы имеют самую низкую температуру плавления двух сплавов и чистых металлов (компонентов) (см. точку *C* рис. 7).

Все сплавы системы олово – цинк делятся эвтектическим сплавом на доэвтектические и заэвтектические. Доэвтектические сплавы состоят из кристаллов олова и эвтектики, эвтектические – из эвтектики, заэвтектические – из кристаллов цинка и эвтектики (см. рис. 7).

Контрольные вопросы

1. Что обозначают термины: «компонент», «фаза», «структура»?
2. Изобразите кривые охлаждения аморфных веществ, чистых металлов, эвтектических и доэвтектических (заэвтектических) сплавов.
3. Охарактеризуйте зоны, имеющие место на диаграмме состояния сплавов олово – цинк.
4. Что обозначают термины: «линия ликвидуса» и «линия солидуса»? Укажите эти линии на диаграмме состояния сплавов олово – цинк.
5. Что такое эвтектический, доэвтектический и заэвтектический сплавы? Какую структуру они имеют?
6. Какую информацию о сплавах дают диаграммы состояния? Как их строят?

2. Выполнение лабораторной работы

После изучения раздела «Основы теории сплавов» [1–3], данных методических указаний и ответов на контрольные вопросы необходимо приступить к выполнению лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство, принцип работы и особенности эксплуатации оборудования и приборов для термического анализа металлов и сплавов.

2. Поместить в тигли навески чистых металлов и сплавов указанных составов (приложение). Массу навески выбрать таким образом, чтобы тигель заполнялся расплавом на 50...70 % от объема.

3. Произвести нагрев металла (сплава) до температуры, превышающей температуру его плавления на 30...50 °С.

4. Выключить ток и охлаждать тигли с расплавленными металлами и сплавами. Через равные промежутки времени (задаются преподавателем) фиксируются значения температуры металла или сплава. Данные заносятся в табл. 1.

Таблица 1. Значение температур кристаллизации

Номер точки	Температура, °С
1	
2	
И т.д.	

5. По результатам опытов построить на миллиметровой бумаге кривые охлаждения (см. рис. 3...6), указав для каждой кривой процентный состав сплава. При построениях можно применять масштаб: 10 с = 1 мм и 10 °С = 1 мм.

6. На графиках кривых охлаждения чистых металлов и сплавов выделить точки, соответствующие кристаллическим температурам. Данные занести в табл. 2.

Таблица 2. Критические точки сплавов

Номер сплава	Состав сплава	Температура кристаллизации, °С	
		начала	окончания

7. Полученные критические точки начала и окончания кристаллизации (например 1 и 1' для кривой охлаждения № 1; 1, 2 и 2' для кривой охлаждения № 2 и т.д.) перенести с кривых охлаждения в координаты температура – концентрация компонентов на вертикальные линии I, II и т.д., соответствующие заданной концентрации (рис. 7).

8. На графике температура – концентрация компонентов на всех вертикальных линиях I–VI соединить точки начала кристаллизации сплавов (точки 1 – получим кривую *ACB*) и критические точки окончания кристаллизации сплавов (точки 1', 2' – получим прямую *DCF*) (см. рис. 7).

Приложение – Составы сплавов для термического анализа

Номер сплава	Система					
	свинец	сурьма	олово	цинк	висмут	сурьма
1	100	0	100	0	100	0
2	95	5	95	5	90	10
3	87	13	91	9	70	30
4	60	40	60	40	40	60
5	30	70	30	70	10	90
6	0	100	0	100	0	100

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ

Введение

Основной задачей данной лабораторной работы является систематизация и закрепление знаний по разделу «Общие сведения о металлах и сплавах» при изучении дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». При ее выполнении студенты должны приобрести практические навыки определения формы и размеров зерен чистых металлов.

Цель работы: изучить методику и получить практические навыки определения формы и размеров зерен чистых металлов.

Материальное обеспечение: металлографические микроскопы МИМ-7, МИМ-8, МИМ-10, микрошлифы чистых металлов (Pb, Sb, Zn, Cu).

1. Определение цены деления шкалы окуляра и общего увеличения микроскопа

Измерить размер зерна металла можно с помощью окуляра-микрометра, т.е. окуляра со шкалой. Перед началом измерений необходимо определить его цену деления. Для этого нужно на предметный столик поместить объект – микрометр (эталонную пластинку, каждое из 100 делений шкалы которой соответствует 10^{-5} м). После фокусирования совмещают обе шкалы в положении, показанном на рис. 1.

В центре поля необходимо выбрать определенное число делений шкалы объекта-микрометра и по шкале окуляра определить, сколько делений шкалы окуляра занимает изображение выбранного числа делений шкалы объекта-микрометра. Например (см. рис. 2.1), при данном объективе 40 делений окуляра-микрометра совпадает с 72 делениями объекта-микрометра. Цену деления окулярной шкалы (или сетки) вычисляем по формуле

$$E = \frac{Z \cdot T}{A}, \quad (1)$$

где Z – число делений объекта-микрометра; A – число делений окулярной шкалы (или сетки); T – цена деления шкалы объекта-микрометра, мм (обычно $T=0,01$ мм).

Для рассматриваемого примера цена деления окулярной шкалы равна:

$$E = \frac{72 \cdot 0,01}{40} = 0,018 \text{ мм} = 18 \text{ мкм.}$$

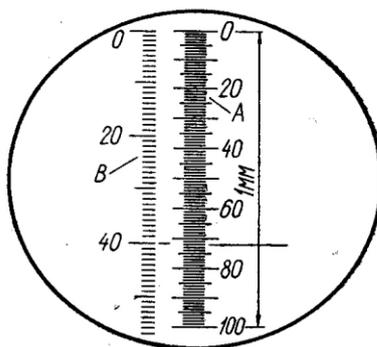


Рис. 1. Схема определения цены деления окуляра микроскопа:
А – шкала объекта-микрометра; В – шкала окуляра-микрометра.

Общее увеличение микроскопа (V_o) при визуальном рассмотрении равно произведению увеличения объектива ($V_{об}$) и окуляра ($V_{ок}$):

$$V_o = V_{об} \cdot V_{ок}. \quad (2)$$

2. Определение величины зерна

Определение величины зерна имеет важное практическое значение, так как от его размера в значительной степени зависят свойства металла.

Микроскопический анализ (микроанализ) металлов и сплавов заключается в исследовании строения (структуры) металла с помощью оптического или электронного микроскопа.

Строение металлов и сплавов, наблюдаемое при помощи микроскопа, называется **микроструктурой**. Микроанализ позволяет определить форму и размеры отдельных зерен, выявить наличие имеющихся в металле включений, судить о свойствах металлов и сплавов.

Микроанализу подвергают специально подготовленные образцы, называемые микрошлифами [3, 5, 7]. Размер зерна, средний размер случайных сечений зерен в плоскости микрошлифа определяют в соответствии с ГОСТ 5639–82 следующими методами:

- 1) визуального сравнения с эталонными шкалами (приложение 1);
- 2) подсчета числа пересечений границ зерен отрезками шкалы;
- 3) подсчета количества зерен, приходящихся на единицу площади поверхности;
- 4) измерения длин хорд.

Рассмотрим сущность первых двух методов, которые являются наиболее простыми.

В производственных условиях в большинстве случаев применяется первый метод, при котором изображение при 100-кратном увеличении микроскопа сравнивают с эталонами (приложение 1) и, отыскав аналог, определяют номер зерна.

Если размер зерна исследуемого образца выходит за пределы номеров зерен 1–10 шкалы, то применяют другие увеличения и используют данные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Пересчет номера зерна на стандартное увеличение (x100)

Увеличение	Номер зерна																		
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
50			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
200							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
400									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
800												1	2	3	4	5	6	7	8

Согласно ГОСТ 5639–82 эталонная шкала стандартных размеров зерна состоит из 18 номеров (см. табл. 2.1). Номера зерен до 5 считаются крупными, а свыше 6 – мелкими.

Размер зерна по второму методу определяют следующим образом. Подобрать такое увеличение, чтобы на исследуемой поверхности было не менее 50 зерен (увеличение 90–130 раз), а линейка шкалы окуляра-микрометра пересекала не менее 10 зерен (зерна на концах линейки, не пересеченные целиком, принимают за одно), подсчитывают число пересеченных линейкой зерен (рис. 2.2). Затем с помощью винтов предметного столика последовательно перемещают микрошлиф в двух взаимно перпендикулярных направлениях каждый раз на 1 мм и после каждого перемещения аналогично подсчитывают количество зерен, пересекаемых прямой.

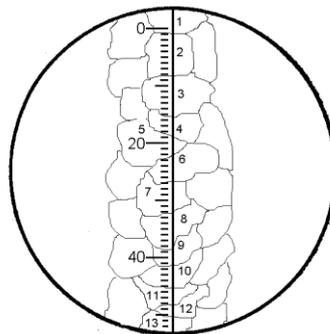


Рис. 2. Схема проведения измерений для определения среднего условного диаметра зерна.

Для получения надежных результатов подсчеты выполняют не менее чем для пяти характерных мест шлифа. Число зерен для подсчетов должно быть 50–150.

Например, на рис. 2.2 линейка шкалы окуляра-микрометра длиной 52 деления пересекает 12 зерен (зерна №1 и №13 приняты за одно зерно). Данные находятся в строке 1 табл. 2.2 (столбцы 2, 3).

В строках 2–5 табл. 2.2 приведены данные других измерений (столбцы 2,3). В столбце 5 табл. 2.2 приведены результаты определения длины отрезков, которые находятся по формуле

$$L = n \cdot E, \quad (3)$$

где n – число делений отрезка шкалы окуляра, шт.; E – цена деления шкалы окуляра микроскопа, мкм.

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов

№ п.п.	Число зерен n , шт.	Число делений отрезка шкалы p , шт.	Цена деления шкалы E , мкм	Длина отрезка шкалы L , мкм
1	2	3	4	5
1	12	52	18	936
2	13	69	18	1242
3	10	52	18	936
4	15	77	18	1386
5	13	64	18	1152

Затем, разделив суммарную длину всех отрезков на число пересечений (зерен), получают средний условный диаметр зерна и по ГОСТ 5639–82 определяют номер зерна по номограмме.

В рассматриваемом примере общее число зерен равно 63, суммарная длина всех отрезков – 5652 мкм ($1\text{ мм} = 1000\text{ мкм}$) и средний условный диаметр зерна – 90 мкм. Так как средний диаметр зерна будет равен 90 мкм, то на площади 1 мм^2 находится 125 зерен, соответствующих номеру 4 (рис. 3).

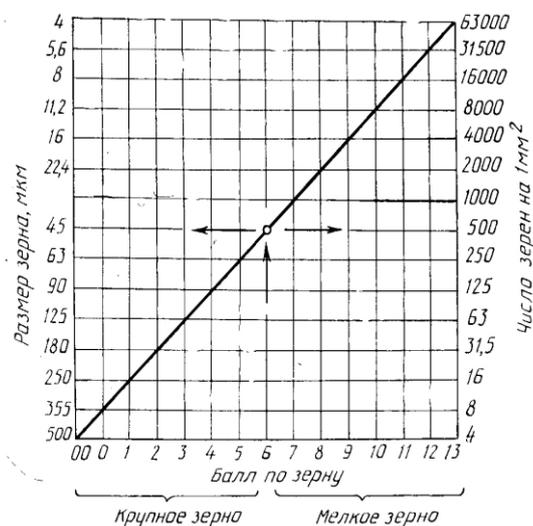


Рис. 3. Номограмма для определения размера зерна.

Контрольные вопросы

1. Перечислите и охарактеризуйте основные типы кристаллических решеток металлов.
2. Что такое анизотропия в кристаллах?
3. Какие существуют дефекты кристаллического строения?
4. Какую форму имеют зерна чистых металлов? Почему?
5. Как определяется общее увеличение металлографического микроскопа? При каких увеличениях исследуется зернистость?
6. Как определяется цена деления шкалы окуляра металлографического микроскопа?

7. Перечислите и охарактеризуйте известные вам методы определения размеров зерен металлов.

8. Какие номера зерен принято считать крупными, какие – мелкими?

3. Порядок выполнения работы

1. Приготовить и протравить микрошлиф (материал задается преподавателем).

2. Изучить устройство, принцип работы и особенности эксплуатации металлографических микроскопов по методическим указаниям [7] или прилагаемым к ним описаниям.

3. Подготовить микроскоп к измерениям, для чего установить требуемое общее увеличение микроскопа. Требуемое общее увеличение при исследовании микрошлифов чистых металлов и неупрочненных сталей выбирается в пределах 100–300. Таблицы увеличений для металлографических микроскопов МИМ-7, МИМ-8 приведены в приложении 2. Величина общего увеличения задается преподавателем.

4. Определить цену деления окуляра-микрометра (см. рис. 1).

5. Изучить и зарисовать микроструктуру образца.

6. Произвести соответствующие измерения (см. рис. 2). Полученные данные занести в таблицу.

№ п.п.	Число зерен, шт.	Длина отрезка шкалы, мкм	№ п.п.	Число зерен, шт.	Длина отрезка шкалы, мкм
1			4		
2			5		
3			6		

7. Рассчитать средний условный диаметр зерна.

8. По номограмме (см. рис. 2.3) определить номер зерна.

9. Освоить методику определения размера зерна по микрошлифу методом сравнения (приложение 1).

Отчет о выполнении работы

1. Общие сведения о кристаллическом строении металлов, характеристика механизма возникновения и формообразования зерен металлов.

2. Схема измерения величины зерна методом случайных секущих (см. рис. 2).

3. Таблица с экспериментальными данными и результаты их обработки.

Приложение 1

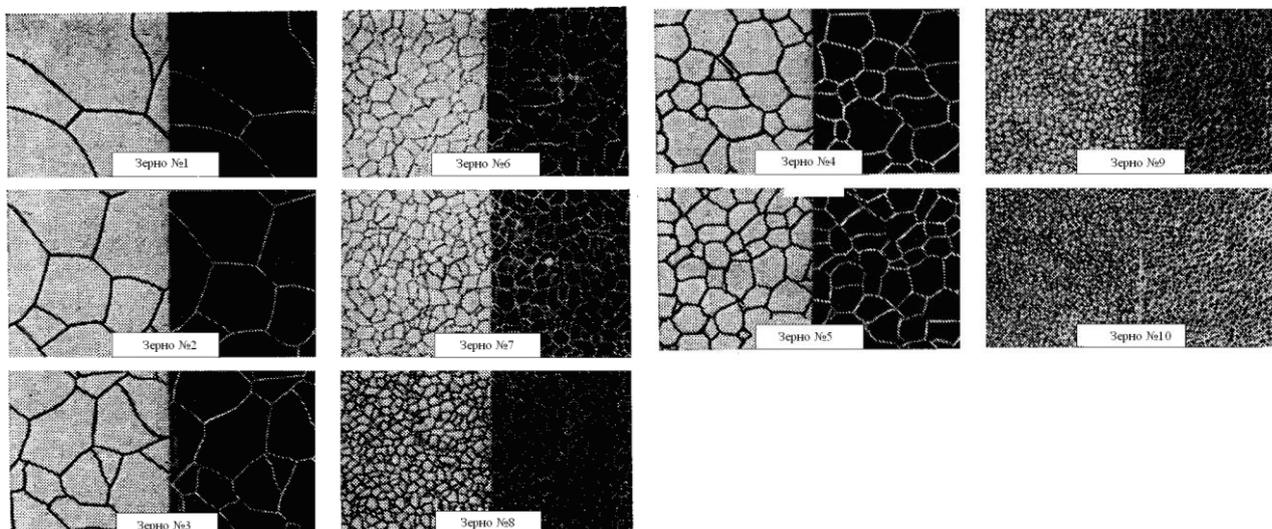


Таблица увеличений (для металлографического микроскопа МИМ-7)

Объективы	Окуляры			
	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
F=23,2; A=0,17	60	90	130	170
F=13,9; A=0,30	100	140	200	300
F=8,2; A=0,37	170	240	360	500
F=6,2; A=0,65	–	320	500	650
F=2,77; A=1,25	500	720	1080	1440

Таблица увеличений (для металлографического микроскопа МИМ-8)

Объективы	Окуляры				
	5 ^x	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
F=15,7; A=0,30	–	–	150	285	300
F=8,4; A=0,65	–	–	300	450	600
F=4,3; A=0,37	–	–	600	900	–
F=2,8; A=1,30	–	630	900	1350	–
F=2,8; A=1,00	450	630	900	1350	–

КОНСТРУКЦИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НЕКОТОРЫХ МНОГОЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Цель работы: 1. Изучить назначение, конструкцию и геометрию основных типов многолезвийных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток, фрез).

2. Приобрести практические навыки в замерах конструктивных элементов и геометрических параметров и выборе области рационального применения инструментов.

3. Закрепить полученные теоретические знания при изучении раздела «Обработка конструкционных материалов резанием» курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Оборудование рабочего места: 1. Набор многолезвийного режущего инструмента (сверло, зенкер, развертка, фреза).

2. Оборудование и приборы для измерения конструктивных элементов и геометрических параметров режущих инструментов: штангенциркуль, микромер, угломер универсальный или оптический, масштабная линейка, оптическая делительная головка, индикатор со штативом, кронциркуль, транспортир, копировальная бумага, учебные плакаты.

1. Порядок выполнения работы

1. Пользуясь данными методическими указаниями и рекомендуемой литературой, накануне занятий следует самостоятельно изучить типы, назначение, геометрию и область применения многолезвийных режущих инструментов.

2. Выяснить, из каких материалов изготавливаются их режущие части (лезвия).

3. Ознакомиться с измерительным инструментом и научиться им пользоваться. Произвести замеры геометрических параметров и конструктивных элементов инструментов в соответствии с протоколами.

2. Содержание отчета

1. Дать краткую характеристику изучаемого инструмента, указать его назначение и тип, материал режущей части.

2. Заполнить протоколы измерений (табл. 1, 2, 3).
3. Выполнить эскизы соответствующего инструмента в двух проекциях с необходимыми сечениями, указав его конструктивные элементы и геометрические параметры.
4. Определить область рационального применения изучаемого инструмента.

Таблица 1. Протокол измерений конструктивных элементов и геометрических параметров сверла и зенкера

Конструктивные элементы и геометрические параметры	Обозначение и размерность	Результаты измерений	
		Сверло	Зенкер
Диаметр инструмента:			
у режущей части	d , мм		
у шейки	d_1 , мм		
по затылованной поверхности	d_2 , мм		
большого основания конуса хвостовика	d_3 , мм		
Общая длина инструмента	L , мм		
В т. ч.: рабочей части	ℓ , мм		
режущей части	ℓ_1 , мм		
шейки	ℓ_2 , мм		
хвостовика	ℓ_3 , мм		
лапки	ℓ_4 , мм		
Конусность рабочей части	$k = \frac{d-d_1}{\ell}$		
Толщина перемычки:			
при вершине	a , мм		
у хвостовой части	a_1 , мм		
Высота ленточки	$h = \frac{d-d_1}{2}$, мм		
Ширина ленточки	f , мм		
Номер конуса Морзе хвостовика	№		
Угол при вершине сверла	2φ , град		
Угол наклона перемычки	Ψ , град		
Угол наклона винтовой канавки	ω , град		
Главный передний угол:			
на расстоянии $R_{x1} = R$	γ_{x1} , град		
на расстоянии $R_{x2} = 0,5R$	γ_{x2} , град		
Главный задний угол:			
на расстоянии $R_{x2} = 0,5R$	α_{x2} , град		

Таблица 2. Протокол измерений конструктивных элементов и геометрических параметров развертки

Конструктивные элементы и геометрические параметры	Обозначение и размерность	Результаты измерений
Диаметр развертки:		
номинальный	d , мм	
у шейки	d_1 , мм	
Общая длина развертки	L , мм	
Длина рабочей части	ℓ , мм	
В т. ч.: режущей	ℓ_2 , мм	
калибрующей	ℓ_3 , мм	
направляющего конуса	ℓ_1 , мм	
обратного конуса	ℓ_4 , мм	
шейки	ℓ_5 , мм	
хвостовика	ℓ_6 , мм	
Конусность обратного конуса	$k = \frac{d-d_1}{\ell_4}$	
Число зубьев	z , шт.	
Главный угол в плане	φ , град	
Главный передний угол	γ , град	
Главный задний угол	α , град	
Угол наклона винтовой канавки	ω , мм	

Таблица 3. Протокол измерений конструктивных элементов и геометрических параметров фрезы

Конструктивные элементы и геометрические параметры	Обозначение и размерность	Результаты измерений
Диаметр фрезы	d , мм	
Диаметр отверстия	d_1 , мм	
Ширина фрезы	L , мм	
Число зубьев	z , шт.	
Шаг зубьев	P , мм	
Передний угол	γ , град	
Задний угол	α , град	
Угол наклона винтовой канавки	ω , град	
Угол наклона зуба	λ , град	
Главный угол в плане	ϕ , град	
Вспомогательный угол в плане	ϕ , град	

3. Осевые режущие инструменты

Осевым режущим инструментом называется лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания D_r и движением подачи вдоль оси главного движения резания D_s (ГОСТ 25751-83). Как правило, осевой режущий инструмент применяется при работе на сверлильных станках и обеспечивает следующие виды работ (рис. 1).

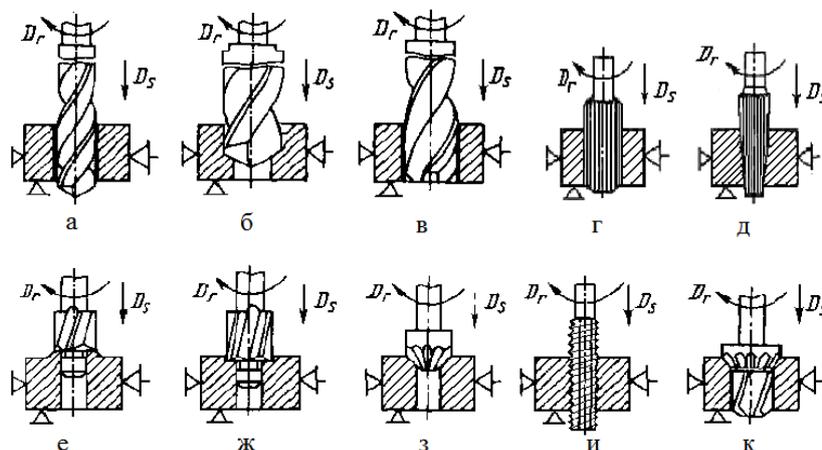


Рис. 1. Схемы обработки заготовок осевым многолезвийным инструментом: а – сверление; б – рассверливание; в – зенкерование; г, д – развертывание соответственно цилиндрического и конического отверстия; е, ж – цекование; з – зенкование; и – нарезание резьбы; к – обработка отверстия сложного профиля комбинированным инструментом (комбинированный зенкер)

3.1. Сверла

Сверло – осевой многолезвийный режущий инструмент для обработки отверстия в сплошном материале и увеличения диаметра имеющегося отверстия (ГОСТ 25751-83).

В зависимости от конструкции и назначения сверл они подразделяются на спиральные (винтовые), перовые, шнековые, кольцевые, эжекторные, ружейные с наружным или внутренним отводом стружки, комбинированные, центровые и др. [1– 5].

Сверла изготавливаются из быстрорежущих сталей P18, P12, P9, P6M5, P9K5, P9M4K8, P10K5Ф5 и др., легированных сталей 9ХС, а также оснащаются пластинами из твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК10М, ВК6М и др.

5.1.1. Спиральные сверла

Наиболее широкое распространение получили спиральные сверла (рис. 2). Сверло состоит из рабочей части l , включающей режущую часть l_1 , или заборный конус, шейки l_2 , цилиндрического или конического хвостовика l_3 и лапки l_4 .

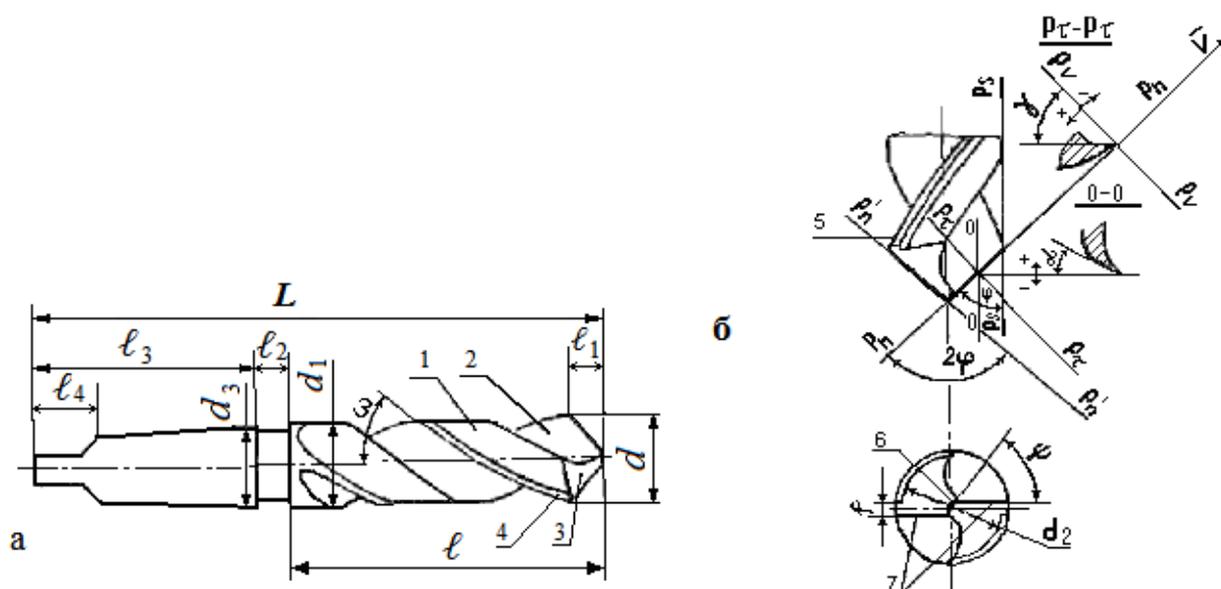


Рис. 2. Элементы и геометрия спирального сверла

Обычно у сверл небольшого диаметра ($d \leq 10$ мм) хвостовик имеет форму цилиндра. При этом сверло крепится в специальном патроне. Сверла большего диаметра ($d > 10$ мм) изготавливаются с коническим хвостовиком, при помощи которого они устанавливаются в конической отверстии шпинделя или переходной конической втулке.

Конические хвостовики различают по номерам конуса Морзе (табл. 4).

Лапка служит упором для сверла от прокручивания, а также выбивания из шпинделя станка или переходной втулки.

Шейка расположена между хвостовиком и рабочей частью сверла. На ней дается характеристика сверла: материал режущей части и диаметр нового сверла по ленточкам у режущей части.

Таблица 4. Наружные конусы

Номер конуса Морзе	0	1	2	3	4	5	6
Диаметр большего основания конуса, мм	9,21	12,24	17,98	24,05	31,54	44,73	63,76

Рабочая часть имеет две винтовые канавки, по которым отводится стружка из образуемого сверлом отверстия. Режущая часть (см. рис. 2) имеет пять режущих кромок: две главные 7, поперечную 6 и две вспомогательные 5. Главные режущие кромки расположены симметрично оси сверла и образованы пересечением его передних 2 и задних 3 поверхностей, которые, в отличие от токарного резца, имеют соответственно винтовую и криволинейную форму. Для уменьшения трения сверла о стенки отверстия спинки зубьев сверла занижены, а вдоль каждого из них оставлены узкие направляющие ленточки, образующие вспомогательные задние поверхности 4, которые при пересечении с передними поверхностями образуют вспомогательные режущие кромки 5. Они принимают участие в резании по толщине сечения среза. Поперечная режущая кромка 6 образуется пересечением задних поверхностей 3.

Рабочая часть спирального сверла имеет переменный наружный диаметр, уменьшающийся по направлению к хвостовику. Коническая форма сверла устраняет возможность защемления его в просверливаемом отверстии, а также уменьшает его трение об обработанную поверхность.

В соответствии с ГОСТ 25762-83 конструктивные особенности спирального сверла рассматриваются в координатных плоскостях и характеризуются углом при вершине 2φ , углом наклона винтовой канавки ω , главным передним углом γ , главным задним углом α и углом наклона поперечной кромки ψ (см. рис. 2, б).

Угол в плане φ рассматривается в основной плоскости P_v . Он определяется между плоскостью резания P_n и рабочей плоскостью P_s . На практике обычно измеряется угол при вершине сверла 2φ , который определяется между проекциями главных режущих кромок на основную плоскость P_v . Этот угол при сверлении конструкционных сталей и чугунов, твердых бронз, органического стекла принимается равным $116...120^\circ$, сталей и сплавов жаропрочных и коррозионно-стойких – 127° , латуней и мягких бронз – 130° , алюминия и других мягких цветных металлов – $130...140^\circ$, текстолита – 70° , стеклотекстолита – $70...90^\circ$, гетинакса – 90° , полиэтилена – 110° , эбонита – $80...90^\circ$, мрамора и других хрупких материалов – 80° .

Поперечная кромка затрудняет работу сверла, так как она не режет, а сминает металл. Угол наклона поперечной кромки при правильной заточке сверла составляет $47...55^\circ$. Он расположен между проекциями поперечной и главной режущей кромок на плоскость, перпендикулярную к оси сверла (см. рис. 2, б).

Угол наклона винтовой канавки ω – угол, заключенный между касательной к винтовой поверхности канавки и линией, параллельной оси сверла. Его величина определяется условиями схода стружки по передней поверхности, а также прочностью сверла. Чем больше наклон канавок, тем лучше отводится стружка, но при этом жесткость сверла и прочность его режущих кромок уменьшаются. Чем меньше диаметр сверла, тем меньшей принимается величина угла ω . Для сверл общего назначения $\omega = 18...30^\circ$. Для сверления вязких материалов (медь, алюминий и др.) $\omega = 35...45^\circ$, пластмасс – $8...20^\circ$. Величина угла ω непостоянна: чем ближе к оси сверла, тем она меньше.

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi R}{P}, \quad (1)$$

где R – радиус сверла, измеренный на периферии, мм; P – шаг винтовой канавки, равный $10...14R$, мм.

Угол ω_x в некоторой точке x определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \omega_x = \operatorname{tg} \omega \frac{R_x}{R}, \quad (2)$$

где R_x – радиус в некоторой точке x , мм.

Главный передний угол γ образуется при изготовлении сверла. Он определяется в секущей плоскости P_τ (см. рис. 2, б) между касательной к передней поверхности лезвия в рассматриваемой точке и основной плоскостью P_v , проходящей через главную режущую кромку сверла. Величина угла γ непостоянна. Она зависит от угла наклона винтовой канавки ω , угла в плане φ и радиуса R_x , на котором находится рассматриваемая точка. На периферии сверла угол γ определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}, \quad (3)$$

а для любой другой точки режущей кромки –

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{\operatorname{tg} \omega_x}{\sin \varphi} = \frac{R_x}{R} \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) показывает, что по мере приближения к оси сверла угол γ уменьшается. Если по периферии у спиральных сверл он находится в пределах $25...30^\circ$, то у поперечной режущей кромки может принимать отрицательное значение.

Главный задний угол α получают при заточке сверла по задним поверхностям. Он заключен между касательной к главной задней поверхности сверла в заданной точке режущей кромки и касательной к окружности ее вращения вокруг оси сверла, находящейся в плоскости резания P_n (см. рис. 2).

Главный задний угол α увеличивается от периферии сверла к центру. Как правило, его величина на периферии равна $8...12^\circ$, а ближе к оси – $20...25^\circ$. Он измеряется в плоскости O – O , параллельной подаче.

Конструкциям спиральных сверл присущи некоторые недостатки:

– величины углов γ и α переменны вдоль режущих кромок сверла;

- поперечная кромка сверла имеет отрицательные передние углы и скорости резания, близкие к нулю, а в центре кромки – равную нулю;
- передний угол на главных режущих кромках уменьшается от вершин лезвия к оси сверла и может быть отрицательным;
- в процессе резания действительные (кинематические) задние углы резко уменьшаются около оси сверла;
- отсутствуют задние углы на ленточках.

В связи с этим применяется свыше 30 различных специальных способов заточек режущей части спиральных сверл. Наиболее распространенные варианты заточек сверл для сверления сталей и чугунов приведены в справочниках и в табл. 5.

Таблица 5. Формы заточки сверла

Диаметр сверла, мм	Наименование формы заточки	Обозначение	Эскиз	Обрабатываемый материал
0,25...12	Нормальная	Н		Сталь, стальное литье, чугун
12...80	Нормальная с подточкой поперечной кромки	НП		Сталь, стальное литье с $\sigma_B < 500$ МПа с неснятой коркой
	Нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки	НПЛ		Сталь, стальное литье с $\sigma_B < 500$ МПа со снятой коркой
	Двойная с подточкой поперечной кромки	ДП		Сталь, стальное литье с $\sigma_B > 500$ МПа с неснятой коркой; чугун с неснятой коркой
	Двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки	ДПЛ		Сталь, стальное литье с $\sigma_B > 500$ МПа со снятой коркой; чугун со снятой коркой

Вопросы для самопроверки

1. Типы сверл, их устройство и назначение.
2. Конструктивные элементы спирального сверла и их назначение.
3. Почему диаметр сверла уменьшается в сторону шейки?
4. Как определить номер конуса хвостовика сверла?
5. В каких плоскостях измеряются геометрические параметры сверла?
6. С помощью каких приспособлений закрепляют спиральные сверла?
7. Что в конструкции сверла способствует уменьшению трения сверла о стенки обрабатываемого отверстия?
8. Определение угла в плане 2ϕ . Зависимость его величины от обрабатываемого материала.
9. Угол наклона винтовых канавок ω . Зависимость его величины от размеров сверла и обрабатываемого материала.
10. В какой плоскости измеряется главный задний угол α ? Закономерность его изменения.
11. Определение главного переднего угла γ . Закономерность и причины его изменения.
12. Дать определение углу наклона перемычки ψ .
13. В чем заключается отрицательное влияние перемычки на режущие способности сверла и какими способами его можно уменьшить?
14. Из каких материалов изготавливают сверла?
15. Способы заточки (улучшения геометрии) сверла.

3.2. Зенкеры

Зенкер – осевой режущий инструмент (рис. 3), служащий для повышения точности формы отверстия и увеличения его диаметра (ГОСТ 25751-83).

Зенковка – осевой многолезвийный инструмент (рис. 4, а) для обработки конического входного участка отверстия (ГОСТ 25751-83).

Зенкеры с торцовыми зубьями называются **цековками** (рис. 4, б). Это осевой многолезвийный инструмент для обработки цилиндрического и (или) торцового участка отверстия заготовки (ГОСТ 25751-83).

Зенкерование большей частью является промежуточной операцией между сверлением и развертыванием. Выполнение зенкерования обеспечивает точность обработки в пределах 11...13 квалитетов и шероховатость поверхности R_a , равную 12,5...3,2 мкм. Припуски на зенкерование принимаются равными от 0,5 до 4 мм на диаметр.

Зенкеры бывают цельные с коническим хвостовиком (хвостовые зенкеры) (рис. 3) и насадные [1–5]. Цельные зенкеры изготавливаются диаметром до 32 мм, а насадные – от 40 до 100 мм.

Из инструментальных материалов для режущей части зенкеров применяются быстрорежущие стали марок P9, P18, P6M5 или твердые сплавы T15K6, BK8 и др.

Хвостовой зенкер (рис. 3) по внешнему виду похож на сверло и состоит из тех же основных частей.

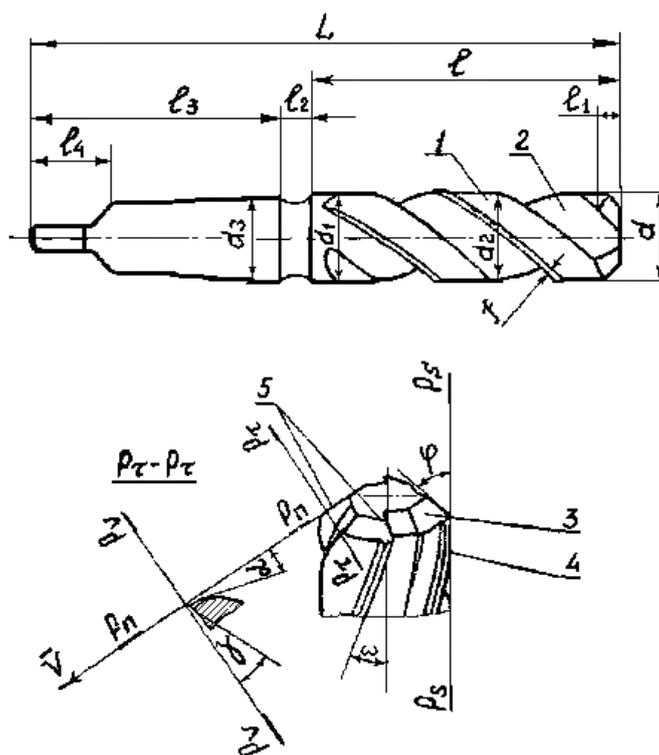


Рис. 3. Элементы конструкции и геометрия хвостового зенкера

Основную работу резания выполняет режущая часть зенкера. Передние углы γ образуются, как и у спирального сверла, за счет винтовой формы стружечных канавок. Их величина зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и измеряется в главной секущей плоскости P_τ .

Для зенкеров из быстрорежущей стали при обработке стальных деталей $\gamma = 8...15^\circ$, при обработке чугуна $\gamma = 6...8^\circ$, цветных металлов и сплавов $\gamma = 25...30^\circ$. Для зенкеров, оснащенных пластинами из твердых сплавов, предназначенных для обработки чугунов, $\gamma = 5^\circ$, для обработки сталей твердостью $HV = 2250...2700$ МПа $\gamma = 0...-5^\circ$, закаленных сталей $\gamma = -$

15°. Задние углы α в пределах 8...10° создают затачиванием главных задних поверхностей зубьев. Они измеряются также в главной секущей плоскости P_T .

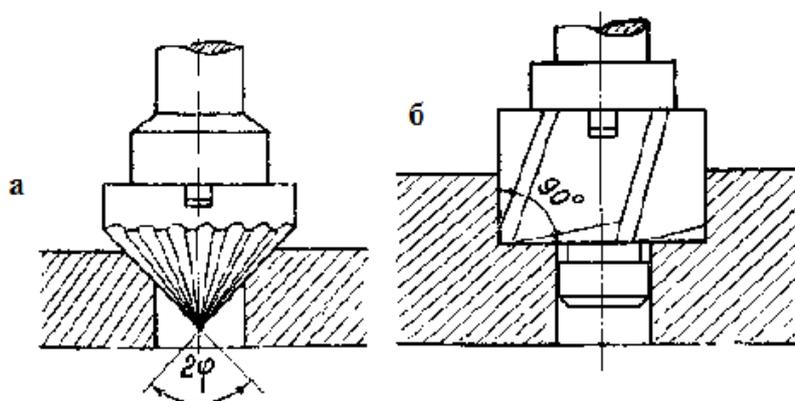


Рис. 4. Зенкеры для обработки конических и цилиндрических торцовых участков отверстия: *a* – зенковка; *б* – цековка

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях применяют зенкерование?
2. Какие основные типы зенкеров вы знаете? Назовите их конструктивные особенности.
3. Какой припуск оставляют под зенкерование?
4. Определение главного переднего угла γ .
5. Выбор геометрии зенкера в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемой детали.
6. Что в конструкции зенкера способствует уменьшению трения о стенки отверстия?
7. За счет каких конструктивных изменений зенкера повышается точность обработки и снижается шероховатость поверхности обрабатываемого отверстия по сравнению со сверлом?
8. Определение угла в плане ϕ .
9. Зависимость угла наклона винтовой канавки от материала обрабатываемой детали. Определение угла наклона винтовой канавки.

3.3. Развертки

Развертка – осевой режущий инструмент, используемый для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности (ГОСТ 25751-83).

Развертками обрабатывают предварительно просверленные, обработанные зенкером или резцом отверстия до точности 6...9 квалитетов и шероховатости $R_a = 1,25...0,63$ мкм.

Припуск на обработку при черновом развертывании принимается равным 0,1...0,4 мм на диаметр, а при чистовом – 0,05...0,2 мм.

Развертки различаются:

- 1) по способу применения (ручные и машинные);
- 2) по форме обрабатываемого отверстия (цилиндрические, конические и ступенчатые);
- 3) по конструкции хвостовика (с коническим и цилиндрическим хвостовиком);
- 4) по характеру крепления (хвостовые и насадные);
- 5) по конструкции рабочей части (цельные, разжимные (регулируемые), с прямым или винтовым зубом, сборные (со вставными ножами)) и т. д. [1–5].

Рабочая часть ручных цельных разверток изготавливается из легированной стали 9ХС или быстрорежущей стали. Рабочую же часть машинных цельных разверток и лезвия сборных разверток изготавливают из быстрорежущей стали или из твердых сплавов типа ТК или ВК.

Хвостовая часть разверток изготавливается из сталей 45 или 40Х.

Хвостовая развертка (рис. 5), как зенкер и сверло, состоит из рабочей части l , шейки l_5 и хвостовика l_6 , но в отличие от них имеет 6...12 зубьев и более пологую режущую часть l_2 .

Рабочая часть l развертки, в свою очередь, делится на режущую l_2 и калибрующую l_3 части, направляющий l_1 и обратный l_4 конусы. Режущая часть развертки осуществляет основную работу по срезанию припуска в отверстии при помощи режущих зубьев, наклоненных к оси под углом в плане φ . Величина угла φ зависит от назначения развертки. В машинных развертках при обработке хрупких, твердых и труднообрабатываемых металлов φ принимается равным 3...5°, при обработке сталей – 12...15°, при обработке глухих отверстий в упор – 60...75°. Ручные развертки для облегчения внедрения в металл имеют $\varphi = 30'...2''$.

Калибрующая часть развертки выполняется цилиндрической формы. Она обеспечивает направление развертки в отверстие, точность его обработки и необходимую шероховатость, а также является резервом для переточки инструмента.

Обратный конус предупреждает повреждение отверстия концами зубьев калибрующего конуса и уменьшает трение развертки об обработанную поверхность.

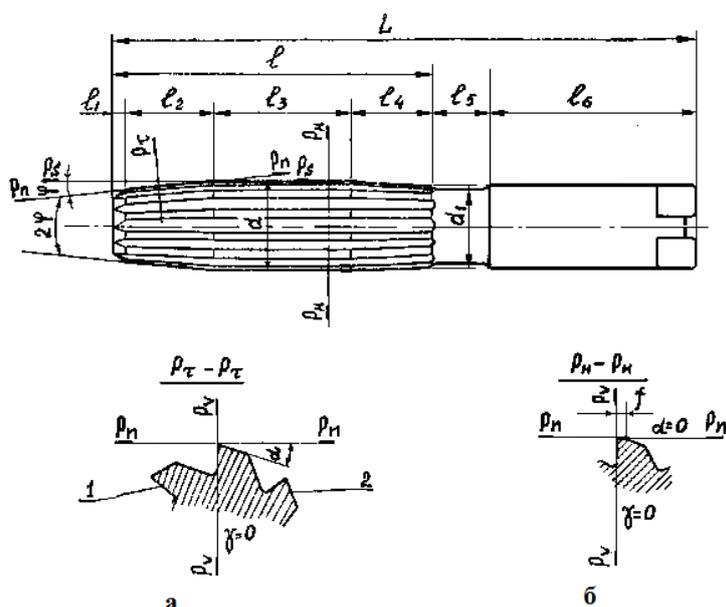


Рис. 5. Элементы и геометрия ручной хвостовой развертки

Форма заточки зубьев развертки по длине разная. Зубья режущей части затачивают до остроты с углом $\alpha = 6...8^\circ$ (см. рис. 5, а). На калибрующей части (см. рис. 5, б) оставляют цилиндрические фаски шириной $f = 0,08...0,5$ мм, которые сглаживают отверстие и улучшают направление развертки. Передний угол γ у чистовых разверток как режущей, так и калибрующей частей обычно принимают равным 0° , а у черновых разверток $\gamma = 5...10^\circ$. При повышенных требованиях к качеству обработки его выполняют отрицательным ($\gamma = -3...-5^\circ$). Передние и задние углы разверток измеряются в плоскости P_τ , перпендикулярной к режущим кромкам.

Вопросы для самопроверки

1. Какие точность размера и шероховатость поверхности обеспечиваются развертыванием?
2. Какие принимают припуски на обработку развертыванием?
3. Классификация разверток по форме обрабатываемого отверстия, конструкции и способу применения.
4. Чем отличаются развертки от зенкеров?
5. Назовите основные элементы развертки.
6. Чем отличается машинная развертка от ручной?
7. В чем состоит преимущество разверток с винтовым зубом?

8. Определение угла в плане ϕ . Его зависимость от типа и назначения развертки.
9. Особенность заточки рабочей части зубьев развертки.
10. Передний угол γ . Его измерение и зависимость от назначения развертки.
11. Определение заднего угла α развертки и методика его измерения.

4. Фрезы

Фрезерование является одним из наиболее распространенных видов обработки плоскостей, пазов с прямолинейным и винтовым направлением, шлицев, тел вращения, разрезки заготовок, образования резьб, а также используется для получения фасонных поверхностей. При черновом фрезеровании обеспечиваются точность до 9...11 квалитетов и шероховатость $R_a = 5...40$ мкм, при чистовом фрезеровании – точность до 8...11 квалитетов и шероховатость $R_a = 1,25...5$ мкм, при тонком – точность до 6...8 квалитетов и шероховатость $R_a = 0,32...1,25$ мкм.

Фреза – это лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без возможности изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения (ГОСТ 25751-83).

Фрезы изготавливаются из быстрорежущих сталей P18, P9, P9Ф5 и др. Они могут оснащаться вставными режущими пластинами, изготовленными из твердых сплавов или сверхтвердых материалов. Для обработки чугунов и цветных металлов применяются пластины группы ВК (ВК4, ВК6, ВК8 и др.). Для обработки деталей из стали фрезы оснащаются пластинами группы ТК (Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В и т. д.). Пластинами из сверхтвердых материалов (ВОК-60, композиты 01, 02, 09, 10 и др.) оснащаются фрезы, предназначенные для полустойкой, чистой и тонкой обработки деталей, изготовленных из инструментальных и других сталей (50...70 HRC_s), высокопрочных чугунов (HB = 4000...6000 МПа) и твердых сплавов марок ВК15, ВК20, ВК25.

В зависимости от характера выполняемых работ, конструкции и крепления зубьев, расположения зубьев относительно оси и других признаков фрезы подразделяются на цилиндрические, концевые, торцовые, дисковые, отрезные, шпоночные, угловые, фасонные и т. д.

Цилиндрические фрезы (рис. 6) применяют для обработки плоских поверхностей на горизонтально-фрезерных станках. Они бывают с правыми или левыми винтовыми канавками, имеют центральное базовое отверстие со шпоночной канавкой, предназначенное для закрепления фрезы на оправке станка. Изготавливаются цилиндрические фрезы диаметром 40...125 мм.

Концевые фрезы имеют наружный диаметр от 1,5 до 80 мм. Отношение диаметра d фрезы к ее длине L равно 0,2...0,5 ($d/L = 0,2...0,5$). Они применяются для обработки открытых пазов, замкнутых профильных углублений и отверстий в заготовках. Концевые фрезы имеют режущие кромки на цилиндрической части и на торце. Предназначены для работы на вертикально-фрезерных станках.

Торцовые фрезы предназначены для обработки плоских поверхностей. Они похожи на концевые фрезы. Отличаются от последних отношением $d/L = 4...6$. Торцовые фрезы выпускаются диаметром от 40 до 630 мм. Применяются на вертикально- и горизонтально-фрезерных, а также агрегатных станках.

Дисковые фрезы предназначены для фрезерования канавок различного назначения. Режущие зубья дисковых фрез выполняются на цилиндрической внешней поверхности, а также в сочетании с одной (двухсторонние) или двумя (трехсторонние) торцовыми поверхностями. Дисковые фрезы выполняются диаметром от 50 до 315 мм.

Отрезные фрезы имеют ширину 1...5 мм и диаметр 60...200 мм. Предназначены для отрезки заготовок и прорезания узких пазов на горизонтально-фрезерных станках.

Шпоночные фрезы имеют диаметр 2...40 мм. Предназначены для фрезерования шпоночных канавок горизонтально- и вертикально-фрезерными станками.

Угловые фрезы предназначены для фрезерования профильных угловых канавок. Зубья угловых фрез расположены на конических поверхностях. Угловые фрезы выпускаются диаметром 35...90 мм. Применяются на универсально-фрезерных станках.

Фасонные фрезы служат для обработки поверхностей сложного фасонного профиля на горизонтально-фрезерных станках. Профиль зуба таких фрез соответствует профилю обработанной поверхности. Фрезы имеют диаметр 45...90 мм.

По направлению зубьев фрезы подразделяются на прямозубые, с наклонными и спиральными зубьями, а в зависимости от формы – на остроконечные и затылованные.

Остроконечные фрезы имеют переднюю и заднюю поверхность плоской формы. Они просты в изготовлении и затачиваются по задней поверхности.

У фрез с затылованным зубом передняя поверхность плоская, а задняя выполняется по архимедовой спирали или другой кривой. Эти фрезы затачиваются по передней поверхности, что трудоемко, но при этом сохраняется профиль режущей кромки.

Цилиндрические фрезы

К основным конструктивным элементам цилиндрических фрез (рис. 6) относятся: наружный диаметр d , ширина фрезы L , диаметр под оправку d_1 , шаг зубьев $P = \pi d / z$, число зубьев z .

Геометрические параметры зубьев фрезы рассматриваются в тех же плоскостях, что и токарных резцов, сверл и пр. Передний угол γ находится в главной секущей плоскости P_τ , перпендикулярной режущей кромке. Его величина зависит от материала зубьев фрезы и физико-механических свойств обрабатываемого материала. Так, для фрез, изготовленных из быстрорежущей стали, $\gamma = 5...30^\circ$, для фрез с зубьями из твердых сплавов $\gamma = 10...20^\circ$.

Главный задний угол α заключен между касательной к траектории движения рассматриваемой точки режущего лезвия вокруг оси фрезы и касательной к задней поверхности. Для фрез с винтовым и наклонным зубом иногда главный задний угол α рассматривается в плоскости P_τ . Измеренный угол обозначается α_n и называется нормальным задним углом.

Между углами α и α_n существует следующая зависимость:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \cos \omega \quad (5)$$

Главный задний угол α для фрез из быстрорежущей стали равен $12...30^\circ$, для торцовых фрез с твердосплавными пластинами $\alpha = 10...25^\circ$.

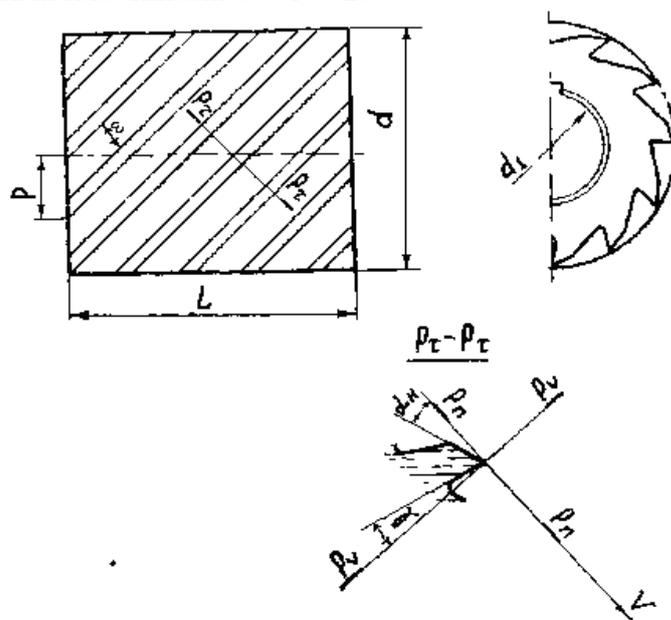


Рис. 6. Элементы и геометрия цилиндрической насадной фрезы

Угол наклона зубьев ω фрезы со спиральным зубом заключен между касательной к винтовой поверхности зуба и линией, параллельной оси сверла. Этот угол обеспечивает равномерную загрузку фрезы при резании и придает направление сходящей стружке.

Главный угол в плане φ рассматривается в основной плоскости P_v между плоскостью резания P_n и рабочей плоскостью P_s . Но так как в цилиндрических фрезах плоскость резания и рабочая плоскость совпадают, то $\varphi = 0$.

Вопросы для самопроверки

1. Типы фрез и их назначение.
2. Какие значения точности и шероховатости поверхности обеспечиваются фрезерованием?
3. Из каких материалов изготавливается режущая часть фрез?
4. Выбор фрезы в зависимости от материала обрабатываемой детали.
5. Конструкция зубьев фрез по форме и направлению, их достоинства и недостатки.
6. Геометрические параметры цилиндрической фрезы.
7. Геометрические параметры торцевой фрезы.
8. Методы измерения угла наклона зубьев.
9. Передний γ и задний α углы фрезы и их измерение угломером 2УРИ.
10. Измерение передних и задних углов у фрез с мелким зубом.
11. Определение главного угла в плане φ у цилиндрической и торцевой фрез.

5. Выполнение работы

5.1. Измерение параметров сверла и зенкера

Измерение геометрических параметров и конструктивных элементов сверла и зенкера следует проводить в соответствии с протоколом измерений (см. табл. 1). Диаметры инструментов измеряются микрометром, общая длина L и ее составляющие, а также ширина ленточки f – штангенциркулем, толщина перемычки при вершине и у хвостовой части сверла – кронциркулем и масштабной линейкой. Угол при вершине 2φ и угол наклона поперечной режущей кромки сверла ψ измеряются универсальным (рис. 7, а, б) или оптическим угломером.

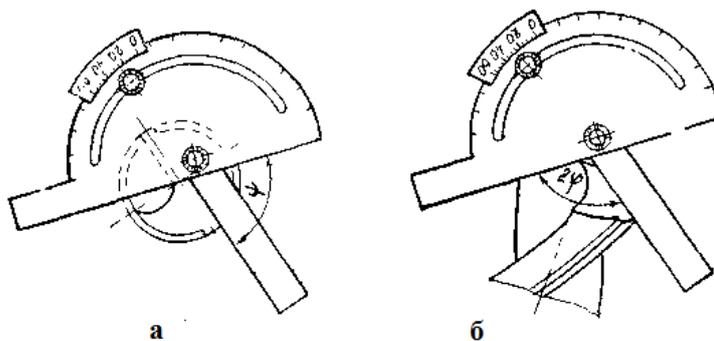


Рис. 7. Измерение углов сверла универсальным угломером:
а – угла наклона поперечной перемычки; б – угла при вершине

Угол наклона винтовой канавки ω измеряется методом прокатывания инструмента по копировальной бумаге. На полученных отпечатках разверток сверла и зенкера угол ω определяется при помощи транспортира или универсального угломера. Величина главного переднего угла γ этих инструментов вычисляется по зависимостям (3) и (4).

Измерение главного заднего угла α сверла производится при помощи делительной головки и индикатора (рис. 8). Сверло 3 устанавливается в шпинделе 2 делительной головки 1, а ножка 4 индикатора 5 закрепляется в выбранной плоскости замера с натягом к главной задней поверхности сверла как можно ближе к его режущей кромке и горизонтально к оси сверла. После этого стрелка индикатора устанавливается на ноль, а сверло совместно со шпинделем поворачивается на угол ρ , который отсчитывается на лимбе 6 делительной головки.

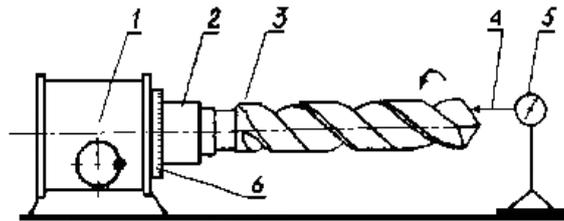


Рис. 8. Измерение задних углов сверла с помощью делительной головки и индикатора

Наконечник индикатора скользит по задней поверхности сверла, показывая величину ее падения h . Значение угла α определяется по выражению

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{57,3}{\rho} \frac{h}{R_x}, \quad (6)$$

где R_x – радиус расположения точки измерения заднего угла α (измеряется штангенциркулем в миллиметрах).

5.2. Измерение параметров развертки

В соответствии с протоколом измерений (см. табл. 2) измерить микрометром номинальный диаметр калибрующей части и диаметр обратного конуса у шейки развертки.

Общая длина развертки, длина рабочей части и ее составляющие измеряются линейкой или штангенциркулем. Главный угол в плане φ замеряется так же, как и у зенкера.

Главные передний γ и задний α углы измеряются с помощью угломера 2УРИ конструкции М. И. Бабчиничера. Устройство угломера и методика измерения им углов приведены в разделе 7.3.

5.3. Измерение параметров фрезы

Первые пять параметров изучаемой фрезы (см. табл. 3) измеряются по аналогии с рассмотренными инструментами. Передний и задний углы измеряются угломером 2УРИ конструкции М. И. Бабчиничера.

Угломер состоит (рис. 9) из дуги 2, на которой с правой стороны закрепляется винтом 4 подвижная планка 3. На дуге 2 нанесена шкала чисел зубьев измеряемых фрез. При измерении фрезы с $z = 60$ зубьев и более используется штрих со знаком ∞ . По дуге перемещается сектор 1 со шкалой задних (до 35°) и передних (до 25°) углов. На секторе имеется планка 6, в пазу которой перемещается измерительный нож 5. Вылет ножа 5 и подвижной планки 3 устанавливается путем их перемещения в направляющих в зависимости от размеров зубьев.

При измерении углов планки 6 и 3 угломера накладываются соответственно на два смежных зуба. Определяя величину переднего угла γ (рис. 9, а), измерительную поверхность ножа 5 следует совместить с передней поверхностью зуба и напротив штриха на секторе 1, соответствующего количеству зубьев изучаемой фрезы (сектор 2), произвести отсчет величины переднего угла.

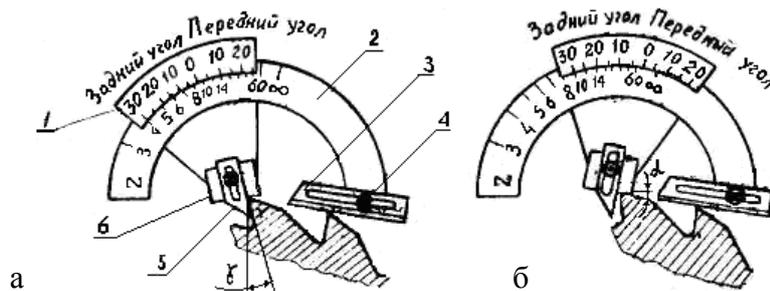


Рис. 9. Измерение передних и задних углов угломером М. И. Бабчиничера

Определяя величину заднего угла α , измерительную поверхность планки 6 совмещают с задней поверхностью зуба (рис. 9, б) и соответственно на секторе 1, в зависимости от количества зубьев фрезы (см. дугу 2), производят отсчет величины угла.

При измерении фрезы с небольшим шагом зубьев подвижную планку 3 можно устанавливать не на смежном зубе, а на зубе, следующем за ним. Тогда отсчет углов будет производиться по штриху, соответствующему уменьшенному в два раза числу зубьев инструмента. Отсчет отрицательных передних углов производится по шкале задних углов. Угол наклона зуба ω измеряется универсальным угломером. Одна линейка угломера прижимается к торцу фрезы, а другая устанавливается по касательной к винтовой линии режущей кромки зуба в точке ее пересечения с плоскостью торца фрезы [4]. Этот угол можно измерять так же, как и других инструментов (см. раздел 6.1), т. е. методом прокатывания фрезы по копировальной бумаге.

Главный и вспомогательный углы в плане φ и φ_1 и угол наклона зуба ω у торцовых фрез измеряются с помощью универсального угломера.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ

Цель работы: приобретение практических навыков по расшифровке и выбору абразивных материалов и инструментов для выполнения различных работ.

Материалы и оборудование: набор абразивных инструментов, методические указания к лабораторной работе, масштабная линейка.

Порядок выполнения работы: 1. Произвести расшифровку абразивных инструментов (набор инструментов задается преподавателем).

2. Произвести выбор абразивных инструментов для выполнения работ, условия которых заданы преподавателем.

Содержание отчета: 1. Расшифровать маркировку следующих абразивных инструментов (шифр или инструмент задается преподавателем): шлифовальный круг, шлифовальный брусок, алмазный круг, шлифовальная шкурка.

2. Выбрать абразивный инструмент для выполнения работ, заданных преподавателем (табл. 1). Дать краткое обоснование выбора инструментов.

Таблица 1. Задания для выбора абразивного инструмента

№ п.п.	Вид и условия обработки	Обрабатываемый материал	Станок (модель)	Шифр инструмента
1	Круглое шлифование:			
	черновое			
	чистовое			
2	Плоское шлифование:			
	черновое			
	чистовое			
3	Хонингование			
4	Заточка инструментов:			
	черновая			
	чистовая			

1. Характеристика абразивных материалов

Все абразивные материалы, применяемые в настоящее время, можно разделить на природные и синтетические.

Природные абразивные материалы

Кварц состоит в основном из кристаллического кремнезема. Твердость кварца по шкале Мооса – 7, микротвердость – 10,8–11,1 ГПа. В зависимости от содержания примесей кварц

имеет различную окраску (от бесцветной до черной) и названия. Одна из его разновидностей – кварцевый песок – белого, желтого и других цветов. Кварц применяется для изготовления шлифовальной шкурки по обработке дерева, кожи, резины и т. д., кроме того, может использоваться для изготовления ведущих кругов при бесцентровом шлифовании.

Кремень 81 Кр – разновидность кварцевой твердой породы светло-серого, желтовато-серого, черного или красного цвета. Зерна кремния имеют несколько более острые кромки, чем кварца, а по твердости они примерно равны. Для производства абразивных материалов используется кремниевая галька или кусковой кремень с содержанием SiO_2 не менее 96% и CaO не более 1,0%. Применяется для изготовления шлифовальной шкурки по обработке главным образом неметаллических материалов: кожи, дерева, эбонита и др. Режущие свойства ее несколько выше, чем кварцевой.

Наждак – минерал, состоящий из кристаллической окиси алюминия (Al_2O_3) и примесей, главным образом окисей железа и силикатов (до 40%). Цвет серый. Твердость наждака – 7–8 по шкале Мооса, микротвердость – 11,8 ГПа. Применяется для изготовления абразивной шкурки, бытовых брусков и для притирки деталей.

Корунд 92Б – минерал, состоящий на 80–95% из кристаллической окиси алюминия (Al_2O_3), примесей кварца и других минералов. Цвет корунда – синеvато-серый, серый, синий, бурый, красный, желтый в зависимости от входящих в него примесей. Твердость корунда по шкале Мооса – 9, микротвердость – 20,2 ГПа. Используется в настоящее время в виде порошков, микропорошков и паст для доводки изделий из металла, стекла и других материалов.

Алмаз (А) – кристаллический углерод. Обладает наибольшей твердостью среди природных материалов. По шкале Мооса его твердость равна 10, микротвердость – 100 ГПа. Обладает высокой износостойкостью, упругостью, теплопроводностью и теплоемкостью, но хрупок, прочность при изгибе составляет 206–480 МПа. Коэффициент линейного расширения алмаза в 5 раз меньше, чем твердого сплава, и примерно в 7 раз меньше, чем стали Р18. Коэффициент трения алмаза по стали в 6 раз меньше, по латуни – в 5 раз, по алюминию – в 2 раза, чем твердого сплава. Указанные свойства алмазов и определяют их высокую режущую способность, точность обработки, широкое применение и высокую эффективность алмазного инструмента.

Алмаз встречается в природе в виде кристаллов массой от 0,005 до нескольких десятков (редко до сотен) карат (карат равен 0,205 г). В зависимости от содержания примесей (0,02–4,8%) окислов алюминия, железа, кальция, кремния, марганца, титана и других алмазы имеют различный цвет (от прозрачных до черных различных оттенков). В зависимости от цвета и свойств различают следующие технические алмазы: борты, балласы (применяются особенно широко) и карбонадо (пористые – применяются реже).

Алмазы размером 0,2 карата и более применяются для изготовления карандашей для правки кругов, резцов, стеклорезов, наконечников к измерительным приборам, бурового инструмента и т. д., а более мелкие зерна и пыль – для производства абразивных инструментов (кругов, брусков, надфилей, паст и др.), для обработки твердых сплавов, драгоценных камней и алмазов, кварца, керамики, металлов и других материалов преимущественно на чистовых и отделочных операциях. Существенным недостатком алмаза является сравнительно низкая теплостойкость. Поэтому температура на рабочих поверхностях алмазного инструмента не должна превышать 700–750°C, особенно в контакте с железом и его сплавами.

Пемза – вулканическое пористое стекло. Применяется в виде порошков преимущественно для доводки мягких металлов, пластмасс и других материалов, а также при подготовке поверхностей изделий под покрытия. Природные абразивные материалы (кроме алмаза) из-за большого содержания примесей обладают низкой и нестабильной абразивной способностью. Кроме того, запасы некоторых (алмаз, корунд) ограничены. Поэтому в промышленности в настоящее время используются преимущественно синтетические абразивные материалы, обладающие высокой однородностью, твердостью и постоянством свойств.

Синтетические абразивные материалы

Электрокорунды состоят из кристаллической окиси алюминия (Al_2O_3). Получают их плавкой бокситов или глинозема в электропечах. В зависимости от содержания примесей электрокорунды имеют различный цвет, структуру и свойства. Примесь хрома окрашивает корунд в красный цвет, примесь титана – в синий, трехвалентное железо – в коричневый, а смесь двух- и трехвалентного железа – в черный. Твердость по шкале Мооса – 9–9,1, микротвердость – 17,6–25,7 ГПа. Электрокорунд выпускается следующих марок: нормальный, белый, хромистый, титанистый, монокорунд и др.

Электрокорунд нормальный 1А (12А–16А) содержит соответственно 91, 92, 93, 95% Al_2O_3 . Цвет розовый, малиновый, синий, от светло-коричневого до темно-коричневого. Твердость по шкале Мооса – 9, микротвердость – около 19,6 ГПа. Наряду с высокой твердостью зерна прочны, допускают большие и неравномерные нагрузки.

Инструменты из 1А как более прочные по сравнению с инструментами, выполненными из других абразивных материалов, применяются для обработки материалов с высоким сопротивлением разрыву в условиях, когда на абразивные зерна действуют большие удельные давления: обдирка стальных отливок, поковок и проката, высокопрочных и ковких чугунов, получистовая и чистовая обработка углеродистых и легированных сталей в сыром и закаленном состоянии, марганцовистой бронзы, никеля и его сплавов и др.

Электрокорунд белый 2А (22А–25А) содержит соответственно 97, 99 и 99,3% Al_2O_3 . Получают его плавкой чистой окиси алюминия (технического глинозема). Цвет белый или светло-розовый. Твердость по шкале Мооса – 9,1, микротвердость – 21,6–25,5 ГПа. Зерна электрокорунда белого более тверды, однородны и обладают лучшей режущей способностью, но более хрупки, чем зерна электрокорунда нормального, дают меньший нагрев при шлифовании.

Инструменты из 2А используются (преимущественно при чистовых режимах) для обработки закаленных заготовок из углеродистых, легированных сталей, хромированных и нитрированных поверхностей деталей, тонких стальных деталей, когда затруднен отвод тепла из зоны обработки (зубья шестерен, тонкостенные детали и др.), заточки режущих инструментов из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей, быстрорежущих и других незакаленных высоколегированных сталей, поверхностей при больших площадях контакта между инструментом и заготовкой (плоское, внутреннее, профильное шлифование), доводка мелкозернистыми инструментами (хонингование, суперфиниш).

Электрокорунд хромистый 3А (32А–34А) (технический рубин) содержит не менее 97% Al_2O_3 и до 2% окиси хрома. Зерна имеют розовую окраску. Применяется для тех же целей, что и 2А, но при интенсивных режимах шлифования. Производительность шлифования и стойкость инструментов в этом случае выше в связи с большей ударной вязкостью зерен. Для труднообрабатываемых сталей применять его не рекомендуется.

Электрокорунд титанистый 37А (технический сапфир) содержит не менее 97% Al_2O_3 и не менее 2% окиси титана, что повышает вязкость зерен. По свойствам и области применения близок к 1А. Целесообразно применять инструменты из него в условиях тяжелых неравномерных нагрузок при обработке конструкционных сталей.

Электрокорунд циркониевый 38А содержит не менее 97% Al_2O_3 с добавлением окиси циркония. Зерна имеют высокую прочность. Инструменты из него применяются в основном для обдирочного шлифования.

Монокорунд 4А (43А–45А) содержит соответственно 96,5–98,5% Al_2O_3 . По сравнению с предыдущими материалами обладает большей твердостью, механической прочностью, абразивной способностью и лучшей самозатачиваемостью. Это объясняется особенностью технологии его получения, в результате которой зерна монокорунда являются целыми кристаллами, а не осколками кристаллов, полученных в результате дробления электрокорундов. Все это обеспечивает лучшие режущие свойства, меньшие усилия резания и нагрев обрабатываемых поверхностей. Инструменты из монокорунда используются при получистовом и чистовом шлифовании аустенитных сталей, деталей из азотированных, цементированных, закаленных, быстрорежущих, высоколегированных сталей, сталей с низкой теплопроводно-

стью и при заточке инструментов из этих материалов. В этом случае меньше опасность появления прижогов на обрабатываемых поверхностях.

Электрокорунд хромтитанистый 9А (92А–94А) используется в основном для изготовления шлифовальных шкур и обработки незакрепленными зёрнами (порошки, пасты). Для этих же целей могут использоваться и другие абразивные материалы.

Сферокорунд (ЭС) содержит более 99% Al_2O_3 , получают его из глинозема в виде полых корундовых сфер. Абразивные инструменты из сферокорунда применяются для обработки мягких и вязких материалов: кожи, резины, пластмасс, цветных металлов и др. В процессе шлифования сферы разрушаются и образуются острые режущие кромки, что обеспечивает большую производительность при небольшом тепловыделении.

Карбид кремния (SiC) является химическим соединением кремния с углеродом. Имеет твердость по шкале Мооса – 9,2, микротвердость – 28–35,3 ГПа. В зависимости от состава и количества примесей выпускается двух видов: карбид кремния черный 5С (52С–55С), содержащий соответственно 95–98% SiC (цвет зерен серый или темно-синий) и карбид кремния зеленый 6С (62С–64С), содержащий соответственно 97–99% SiC (цвет от светло-зеленого до зеленого). По сравнению с 5С он имеет повышенную твердость, абразивную способность и хрупкость. Он дороже 5С.

Карбид кремния, имеющий более высокую твердость, острые грани, но повышенную хрупкость зерен по сравнению с электрокорундами применяется для обработки материалов с невысоким сопротивлением разрыву – чугун, бронза, латунь, твердые сплавы, стекло, фарфор, мрамор, гранит, керамические изделия, кость, уголь, жаропрочные сплавы, цинк, олово, медь, алюминий и его сплавы, полупроводники, пластмассы, кожа, резина, дерево и другие материалы. Они обычно имеют меньшее удельное сопротивление резанию, чем стали.

Титановые жаропрочные и твердые сплавы лучше обрабатываются карбидом кремния зеленым, однокарбидные вольфрамовые можно обрабатывать и карбидом кремния черным. Мелкозернистые карбиды кремния применяются и для отделочного шлифования сталей.

Карбид бора (КБ) содержит 85–94% B_4C . Цвет темно-серый с металлическим блеском. Имеет высокую твердость – 9,3 по шкале Мооса, микротвердость – 39,2–48,0 ГПа, обладает износостойкостью, химической стойкостью и высокой абразивной способностью. Весьма хрупок, особенно при крупных зёрнах, поэтому выпускается обычно зернистостью меньше 12 и используется в виде порошков и паст для доводки твердосплавных и минералокерамических резцов и других твердых материалов.

Техническое стекло 71F оконное, бутылочное используется для изготовления шлифовальных шкур по обработке дерева и других мягких материалов.

Алмаз синтетический (АС). Различают алмазы обычной, повышенной, высокой прочности, а также монокристаллические (АС2, АС4, АС6, АС15, АС20 и др.). Последние два имеют прочность, близкую к природным, и применяются для лезвийных инструментов, работающих в особо тяжелых условиях (резка и обработка гранита, корунда и т. п.). Твердость по Моосу – 10, микротвердость – 78,5–100 ГПа. Свойства и область применения те же, что и природного алмаза.

Кубический нитрид бора (КНБ) имеет следующие обозначения: ЛО, ЛП, ЛД, ЛОМ, ЛОС. Синтезируется из гексагонального нитрида бора при высокой температуре и давлении. Твердость по Моосу – 9,8–10, микротвердость – 71,5–98,0 ГПа, т. е. близка к алмазу. Обладает высокой теплостойкостью (1400–1800°C) и химической стойкостью, инертен к железу. Физико-механические, эксплуатационные свойства и цвет зависят от исходных материалов и параметров синтеза. Поэтому синтезируемый различными производствами он имеет существенные различия и выпускается под различными марками: боразон, кубонит, эльбор. Цвета: молочно-белый, желтый, бесцветный, розовый и др.

Инструменты из кубического нитрида бора используются преимущественно на чистовых операциях шлифования быстрорежущих, жаропрочных и других высоколегированных сталей и сплавов, литых магнитов. Они лучше в этом случае сопротивляются износу, чем алмазные, и имеют высокую размерную стойкость.

Зернистость

Зернистость – это размер зерен, их величина (крупность). В настоящее время в Республике Беларусь действует градация зернистости, приведенная в табл. 2.

Таблица 2. Группа и зернистость абразивных материалов

Группа	Зернистость
Шлифзерно	200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32,25,20,16
Шлифпорошки	12, 10, 8, 6, 5, 4, 3
Микропорошки	M63, M50, M40, M28, M20, M14
Тонкие микропорошки	M10, M7, M5, M3, M2, M1

Для шлифзерна и шлифпорошков номер зернистости указывает нижний предел крупности зерен основной фракции в сотых долях миллиметра, т. е. номинальный размер стороны ячейки сита на просвет, на котором задерживаются зерна этой фракции при просеивании.

Для микропорошков номер зернистости указывает верхний предел крупности зерен основной фракции (мкм) или, если зернистость маркирована в виде дроби, – диапазон, верхний предел которого числитель, а нижний – знаменатель (мкм).

Для алмазных порошков к маркировке добавляются буквы А (для природных) и АС (для синтетических), а для эльбора – буква Л. Например, АМ40, АСМ40, Л25, ЛМ40 и т. д.

Включение в маркировку зернистости буквы Н (АН, АСН) указывает, что зерна обладают повышенной абразивной способностью и применяются для обработки алмазов, корундов, специальной керамики и др.

В одном номере зернистости размеры зерен отличаются в 0,6–1,6 раза от основной фракции, а в микропорошках – в три и более раза. Это влияет на однородность инструмента и стабильность его работы.

Поэтому в маркировке номер зернистости дополняется буквенным индексом В, П, Н, Д, который означает следующее процентное содержание основной фракции: В (высокое) – 55–60% для зернистости М63–М5 и далее для всех номеров зернистости, П (повышенное) – 45–55%, Н (нормальное) – 40–45%, Д (допустимое) – 37–41%.

Крупнозернистые инструменты применяются при обдирочных работах: когда имеется опасность засаливания круга, при больших площадях контакта между кругом и обрабатываемой деталью, при правке шлифовальных кругов и т. д.

Мелкозернистые инструменты используются при высоких требованиях к шероховатости поверхности, когда требуется высокая кромкостойкость и общая стойкость кругов, так как мелкие зерна более прочны при обработке твердых материалов (закаленные стали, твердые сплавы и т. д.), при профильном шлифовании, заточке мелкого инструмента, отделочном шлифовании и т. д.

Наиболее часто применяется средняя зернистость, при которой обеспечивается высокая производительность, хорошая стойкость инструмента и шероховатость обработанной поверхности $Rz=6,3-2,0$ мкм.

Примерные рекомендации по выбору зернистости абразивных инструментов:

200–125 – зачистка стальных болванок и чугунных отливок;

125–80 – зачистка отливок, поковок, штамповок, обдирочное плоское торцовое шлифование и другие обдирочные работы;

100–80 – предварительное плоское торцовое шлифование;

80–50 – при больших площадях контакта между абразивным инструментом с обрабатываемой заготовкой (плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование) и особенно, если имеется опасность засаливания круга (обработка меди, латуни и др.);

50–40 – предварительное круглое наружное, внутреннее, бесцентровое, плоское шлифование;

40–16 – заточка режущих инструментов;

25–12 – окончательное чистовое и профильное шлифование, заточка мелкого инструмента, шлифование хрупких материалов;

12–6 – отделочное шлифование, доводка твердых сплавов;

6–4 – отделочное шлифование, резьбошлифование, чистовое хонингование;

M40 и мельче – суперфиниширование, окончательное хонингование, шлифование резб с мелким шагом, доводка тонких лезвий, калибров и т. д.

При одних и тех же условиях обработки инструменты на бакелитовой связке можно брать на 1–2 номера зернистости больше, чем на керамической. Россия, являющаяся основным поставщиком абразивных инструментов в Республику Беларусь, с 1 января 2008 г. осуществляет постепенный переход на новую их маркировку (ГОСТ Р 52381–2005). В соответствии с новым ГОСТом номера зернистости отражают максимальный размер абразивного зерна, выраженного в долях дюйма (1 дюйм равен 25,4 мм).

Ориентировочное соответствие старого и нового обозначения зернистости абразивного материала представлено в табл. 3.

Таблица 3. Ориентировочное соответствие старого и нового обозначения зернистости абразивного материала

Обозначение		Размер шлифзерна основной фракции, мкм
рекомендуемое по ГОСТ Р 52381–2005	ранее применяемое по ГОСТ 3647–84	
F-12	160	2000–1600
F-16	125	1600–1250
F-20	100	1250–1000
F-24	80	1000–800
F-30	63	800–630
F-36	50	630–500
F-40	40	500–400
F-46	32;40	500–315
F-54	32	400–315
F-60	25	315–250
F-70	20	250–200
F-80	16	200–160
F-90	12;16	200–125
F-100	12	160–125
F-120	10	125–100
F-150	8	100–80
F-180	6	80–63
F-220	5	63–50
F-230	M63	63–50
F-240	M50	50–40
F-320	M40	40–28
F-400	M28	28–20
F-500	M20	20–14
F-600	M14	14–10
F-800	M10	10–7
F-1000	M7	7–5
F-1200	M5	5–3

2. Характеристика абразивных инструментов

Абразивные инструменты состоят из абразивных зерен, скрепленных связкой, пор и иногда наполнителей. Они характеризуются кроме вида и размера абразивного зерна связкой, твердостью, структурой, формой и размерами, точностью, уравновешенностью.

2.1. Связка

Применяются две группы связок:

а) неорганические – керамическая (К), магнезиальная (М), силикатная (С), металлическая (МЛ, М4 и др.);

б) органические – бакелитовая (Б), глифталевая (Г), вулканитовая (В), поропластовая (П) и др.

В настоящее время удельный вес выпуска абразивных инструментов составляет на ке-

рамических связках 50–60%, на бакелитовых – 30–40%, на вулканитовых – около 5% и менее 5% на остальных связках.

Керамическая связка (К1–К8, К10). Цифры 1–8, 10 и другие, помещенные после условного обозначения связки, означают ее рецептуру. Состоит из каолина, огнеупорной глины, талька и других компонентов.

Цвет ее от бело-розового до коричневого. Инструменты на ней более пористы, чем на органических связках, а при простукивании более звонки. Эта связка химически, тепло- и водостойка, жестка и достаточно прочна. Абразивные круги на керамической связке обычно работают при окружных скоростях до 35 м/с, а изготовленные по особой технологии – до 65 м/с. Связка хорошо сцепляется с корундовым зерном и хуже с карбидокремниевым. Обладает большой универсальностью. Может применяться для изготовления абразивных инструментов любых форм, размеров, зернистости и твердости, за исключением тонких (тоньше 3 мм) кругов больших диаметров из-за повышенной хрупкости. Инструменты на ней могут работать с любым видом охлаждающей жидкости и без нее. Имеет низкий коэффициент теплопроводности.

Бакелитовая связка (Б, Б1–Б4, БУ, Б156, БП2) состоит из фенолформальдегидной или бакелитовой смолы. Цвет коричневый разных оттенков. При нагреве ее пламенем появляется резкий запах фенола. По сравнению с керамической связкой более прочна, особенно на сжатие и упругость. На ней могут изготавливаться прорезные круги толщиной до 0,2 мм, а также инструменты для работы с переменной нагрузкой. Круги на бакелитовой связке могут работать при скоростях до 50 м/с, а изготовленные по особой технологии и армированные тканью или нитями из нейлона, капрона и других материалов – до 80 м/с. Они обладают лучшей самозатачиваемостью, однородностью и меньше нагревают обрабатываемую заготовку.

При нагреве до температуры 200–250°C бакелитовая связка становится хрупкой. Нестойка к щелочным растворам, поэтому концентрация их не должна превышать 1,5%. Этот недостаток частично устраняется, если боковые поверхности круга покрыть водостойким лаком, краской, серой.

Вулканитовая связка (В, В1–В3, В5) состоит в основном из искусственного каучука с вулканизирующими добавками. Цвет колеблется от коричневого до черного. При нагреве пламенем появляется запах горелой резины. На этой связке выпускаются жесткие и эластичные инструменты. Жесткие, в которых связкой является эбонит, изготавливаются большого ассортимента, толщина самых тонких – до 0,1 мм. Работают при скоростях до 50 м/с. Гибкие круги, в которых связкой является резина, выпускаются четырех ступеней эластичности: эластичные (1ГК), среднеэластичные (2ГК), малоэластичные (3ГК) и жесткие (4ГК). Они способны принимать форму обрабатываемой поверхности и оказывают хорошее полирующее действие. Применяются для снятия небольшого (несколько микрометров) слоя материала. Менее прочны и работают при скоростях до 30 м/с.

Инструменты на вулканитовой связке плотны, теплопроводность и теплостойкость (150–180°C) их ниже, чем бакелитовых. Дают повышенный нагрев обрабатываемых заготовок. Нестойки к керосину и другим нефтепродуктам.

Глифталева связка (Г). Глифталь – синтетическая смола из глицерина и фталевого ангидрида, по виду напоминает канифоль. Круги на этой связке более упруги и водостойки, чем бакелитовые, но имеют меньшую прочность и теплостойкость. Позволяют работать со скоростью до 35–50 м/с. Применяются при чистовом и отделочном шлифовании сталей, обеспечивают шероховатость $R_z = 0,80–0,125$ мкм.

Связки для инструментов из зерен алмаза и кубического нитрида бора. Рабочий слой инструментов из этих материалов состоит из порошка алмаза или КНБ, связки, наполнителя и пор. Этот слой характеризуется концентрацией, которую принято выражать в процентах: 25, 50, 75, 100, 125, 150%. За 100% условно принято содержание алмазного (или КНБ) порошка 4,39 карата в 1 см³. В маркировке инструментов концентрация может обозначаться номерами соответственно от 1 до 6.

Наполнители (карбид бора, карбид кремния, электрокорунд и др.) в одних случаях повышают твердость, прочность и износостойкость связки, в других – интенсифицируют процесс резания, в третьих – улучшают теплоотвод в тело круга.

Для уменьшения влияния наполнителя на шероховатость обработанной поверхности заготовки зернистость его берется на 2–3 ступени ниже, чем зерна алмаза или КНБ.

Для изготовления инструментов из алмаза и КНБ применяются в основном связки трех групп: органические (Б1–Б4, Т02, Т04, БР, Б156, КБ и др.); керамические (К1, КС, К2, К5, СК, СТ и др.); металлические (М1, М4, М5, МК, МВ1, М013, МИ, МС1, МС6, МС15, М04, М016).

Из перечисленных органических связок наибольшее применение для изготовления инструментов из алмаза и КНБ обычной прочности с концентрацией 50, 100 и реже 150% получили бакелитовые связки Б1, Б2, Б3, Т02, состоящие из пульвербакелита и наполнителя соответственно из карбида бора, железного порошка, электрокорунда белого с коллоидным графитом и карбида бора с медным порошком. Применяются они при чистовых операциях и доводке.

Из керамических наиболее часто применяются связки К1 и К5, основой которых является огнеупорная глина и легкоплавкое стекло, и наполнитель из карбида бора.

Инструменты на этих связках изготавливаются из алмазов и КНБ повышенной прочности и предназначены для обработки твердосплавных пластин режущих инструментов вместе с крепежной стальной частью.

Связки стеклокерамические СК и СТ используются для изготовления суперфинишных брусков и некоторых других инструментов. Наиболее распространенные металлические связки М1, М5, МИ, МК, М013, МС1, МС6, МВ1 состоят из различных композиций на основе меди, олова, железа, алюминия, никеля, цинка и других металлов с наполнителями из карбида бора (М013), карбида кремния зеленого (МИ), электрокорунда (МК), глинозема (МС3) и др.

Инструменты на этих связках изготавливаются из алмазов повышенной и высокой прочности, обладают более высокой износостойкостью, менее чувствительны к переменным нагрузкам, лучше сохраняют свою геометрическую форму по сравнению с предыдущими связками и рекомендуются в основном для предварительного шлифования керамики, стекла и заточки твердосплавных инструментов.

Кругами на связках МС6 и МС1 можно обрабатывать твердые сплавы без охлаждения, на остальных связках – с охлаждением для уменьшения засаливания и уменьшения расхода алмазов, связанных с повышением температур в зоне резания.

В табл. 4 приведены ранее применяемые и соответствующие им новые обозначения связок абразивного инструмента.

Таблица 4. Связка абразивного инструмента

Обозначение		Наименование
ранее применяемое	рекомендуемое по ГОСТ Р 52588–2005	
К1–К8, К10	V	Керамическая
Б, Б1	B	Бакелитовая
БУ	BF	Бакелитовая с наличием упрочняющего элемента
Б4	B4	Бакелитовая с графитовым наполнителем

2.2. Твердость

Твердость абразивных инструментов – это сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности инструмента под действием внешних усилий. Ничего общего она не имеет с твердостью абразивных зерен. Определение твердости производится вдавливанием стального шарика или конуса, пескоструйным способом или высверливанием лунки.

В настоящее время в Республике Беларусь действует следующая шкала степеней твердости инструментов: весьма мягкие ВМ1, ВМ2; мягкие – М1, М2, М3; среднемягкие – СМ1,

СМ2; средние – С1, С2; среднетвердые – СТ1, СТ2, СТ3; твердые – Т1, Т2; весьма твердые – ВТ1, ВТ2; чрезвычайно твердые – ЧТ1–ЧТ10.

Цифры 1, 2, 3 характеризуют твердость в порядке ее возрастания. На керамической и бакелитовой связках выпускаются инструменты всех степеней твердости, а на вулканитовой – только СМ, С, СТ и Т. С повышением твердости и уменьшением зернистости прочность абразивных кругов возрастает.

С твердостью абразивного инструмента связаны производительность, качество обработки и расход инструмента. При правильном выборе инструмента по твердости происходит его самозатачивание, т. е. зерна по мере затупления скалываются и выкрашиваются. При твердом для данной работы инструменте затупившиеся зерна продолжают удерживаться связкой, это приводит к нагреву детали, прижогам, трещинам, ее короблению, большому расходу мощности и т. д. При слишком же мягком инструменте зерна, будучи еще острыми, выкрашиваются, инструмент теряет форму и размер, трудно обеспечить точность, требуется частая правка, увеличивается расход инструмента.

Общепринято, что чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть абразивный инструмент, и наоборот. Исключение составляют **медь, алюминий, свинец и другие материалы**, способные сильно засаливать инструмент.

При больших площадях взаимного контакта инструмент – деталь (плоское торцовое и внутреннее шлифование), обработке тонкостенных деталей и материалов с низкой теплопроводностью, заточке инструментов, работе всухую применяют инструменты на 1–2 ступени мягче.

При интенсивных режимах шлифования (большая подача) на предварительных операциях, неравномерном припуске, ручной подаче, фасонном шлифовании, малых скоростях резания и т. п. применяются более твердые инструменты. Инструменты на бакелитовой связке следует брать на 2–3 ступени большей твердости, чем на керамической.

Примерные рекомендации по выбору твердости абразивных инструментов

ВТ1–ЧТ2 – правка абразивных инструментов, шлифование шариков шарикоподшипников и деталей часов.

СТ1–Т2 – обдирочные операции, прорезка канавок, шлифование методом врезания, профильные работы, ведущие круги бесцентрового шлифования.

С2–СТ2 – предварительное круглое шлифование сталей (преимущественно незакаленных) и ковкого чугуна, отрезка, профильное шлифование, обработка прерывистых поверхностей.

СМ1–С2 – чистовое и комбинированное круглое, наружное и внутреннее, плоское шлифование периферией круга, шлифование резьб с крупным шагом. Заточка режущих инструментов из сталей (ручная – С1–С2, механическая – СМ1–СМ2).

М2–С1 – плоское шлифование торцом круга (М3–СМ2), заточка и доводка твердосплавного инструмента (сплавы ТК–М2–М3, сплавы ВК2–ВК4–М3–СМ1, сплавы ВК6–ВК8–СМ1–СМ2), шлифование труднообрабатываемых и засаливающих инструмент материалов, суперфиниширование и другие работы.

В табл. 5 приведены ранее применяемые и соответствующие им новые обозначения твердости абразивного инструмента.

Акустический метод контроля абразивного инструмента. Звуковой индекс (ЗИ)

Акустический метод контроля твердости абразивного инструмента основан на определении скорости распространения акустических волн (скорости звука), которая тесно связана с рецептурными характеристиками инструмента и его эксплуатационными показателями. Звуковой индекс может быть достаточно быстро и точно рассчитан по результатам измерения частот собственных колебаний (ЧСК) контролируемого изделия.

Таблица 5. Ориентировочное соответствие старого и нового обозначения твердости абразивного инструмента

Обозначение твердости	
рекомендуемое по ГОСТ Р 52588–2006	старое по ГОСТ 18118, ГОСТ 19202, ГОСТ 21323
F	BM1
G	BM2
H	M1
I	M2
J	M3
K	CM1
L	CM2
M	C1
N	C2
O	CT1
P	CT2
Q	CT3
R	T1
S	T2
T	BT
V	CT

Применение акустического метода для контроля физико-механических свойств абразивного инструмента регламентировано государственным стандартом ГОСТ 25961–83. С 1 января 2008 г. на территории Российской Федерации взамен ГОСТ 25961–83 вводят в действие стандарт ГОСТ Р 52710–2007 «Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн».

Весь диапазон значений скорости звука в абразивных инструментах разбит на интервалы с шагом 200 м/с, названные звуковыми индексами. ЗИ обозначаются нечетным двухзначным числом, умножение которого на 100 дает среднее значение величины скорости звука в данном интервале, выраженное в метрах в секунду. Получаемый ЗИ характеризует скорость распространения акустических волн и отражает твердость абразивного инструмента (табл. 6).

Акустический метод введен наряду с традиционными механическими методами контроля твердости. Стандартом рекомендуется на отрезных кругах диаметром менее 600 мм вместо обозначения твердости давать их ЗИ.

Таблица 6. Ориентировочное соотношение значения ЗИ абразивного инструмента

Степень твердости	Круги на керамической связке				Круги на бакелитовой связке
	Белый, нормальный и легированный электрокорунд зернистостями свыше 6	Зеленый карбид кремния зернистостью свыше 6	Белый, нормальный, легированный электрокорунд и зеленый карбид кремния		
			Зернистость 6 - M40	Зернистость менее M40	
M1	35, 37	-	33, 35	33, 35	-
M2	39, 41	47, 49	37, 39	37, 39	-
M3	41, 43	51, 53	41, 43	39, 41	-
CM1	45, 47	55	43, 45	41, 43	-
CM2	49	57	45, 47	43, 45	-
C1	51	59	49	45, 47	31
C2	53	59	49, 51	47, 49	33
CT1	55	61	51, 53	49	35
CT2	57	61	53	51	35
CT3	59	63	55	53	37
T1	61	63	55, 57	-	37
T2	61	-	57	-	39
BT	63	-	-	-	39
CT	-	-	-	-	41

2.3. Структура

Структура абразивного инструмента – это объемное соотношение в инструменте абразивных зерен, связки и пор, или степень сближения зерен абразива. Промышленностью выпускаются абразивные инструменты четырех групп структур: плотные – № 0, 1, 2, 3; средние – № 4, 5, 6, 7, 8; открытые – № 9, 10, 11, 12; высокопористые – № 13, 14, 15, 16, 17, 18.

В инструменте структуры № 0 объем абразивных зерен составляет 62%, с повышением номера структуры на единицу объем зерна уменьшается на 2%. У инструментов структур № 13–18 объемная пористость может достигать 35–70%, а величина пор – до 2–3 мм. Она регулируется величиной частиц порообразующего материала (выгорающего или разлагающегося при обжиге). Высокопористые инструменты имеют меньший объемный вес, а следовательно, и силы инерции, лучше самозатачиваются и охлаждаются и меньше засаливаются при работе. Инструменты этих структур выпускаются малых номеров зернистости.

Абразивные инструменты плотных структур (№ 0 – 3) применяются главным образом для чистовых доводочных работ, при больших и переменных нагрузках, для обработки хрупких материалов и когда требуется длительное сохранение профиля круга (профильное шлифование и т. д.).

Инструменты средних структур (№ 4 – 8) используются при наружном, внутреннем и бесцентровом круглом шлифовании, плоском шлифовании, заточке инструментов, профильном и резьбошлифовании мелкозернистыми кругами, т. е. эти структуры применяются наиболее часто.

Инструменты открытых структур (№ 9 – 12) используются при больших площадях взаимного контакта инструмент – заготовка при обработке мягких и вязких материалов, при опасности появления прижогов, заточке твердосплавных инструментов и т. д.

Высокопористые инструменты применяются при больших площадях контакта инструмент – заготовка (торцовое плоское и внутреннее шлифование), особенно когда опасны прижоги и засаливание круга, обработке различных неметаллических материалов и при скоростных режимах шлифования.

2.4. Вид, форма и размеры

По виду различают круги, головки, сегменты, бруски, шкурки и другие инструменты многих разновидностей, типоразмеров (около 16 000).

Круги. Промышленность выпускает много форм кругов диаметром от 3 до 1060 мм, высотой от 0,18 до 275 мм и диаметром отверстия от 1 до 305 мм. Наиболее распространены из них следующие:

плоские прямого профиля (ПП) – самые простые, используются на большинстве шлифовальных станков;

плоские с двусторонней выточкой (ПВД) удобны тем, что зажимные фланцы утоплены в углублении (выточке) и не мешают подводу круга к месту шлифования. Позволяют производить некоторые работы торцом круга;

диски (Д) применяются для резровки, прорезки и шлифования пазов, шлифования резьбы и т. д.;

кольца (1К, 2К) применяются при плоском шлифовании торцом круга, крепятся на станке приклеиванием. Чашки цилиндрические и конические (ЧЦ, ЧК) используются для заточки инструмента и плоского шлифования торцом круга;

тарелки (1Т, 2Т, 3Т, 4Т) служат для заточки инструментов и шлифования труднодоступных мест.

Выбор формы и размера круга производится в зависимости от формы и размера обрабатываемой поверхности, размера изделия, технической характеристики станка и конструкции крепления инструмента, способа шлифования и т. д.

Выгоднее применять круги большего диаметра и ширины. Малые и тонкие круги быстро и неравномерно изнашиваются.

При шлифовании отверстий диаметр круга должен быть не менее 0,8 диаметра, а при диаметре отверстия больше 150 мм – не менее 0,5–0,8 диаметра отверстия. Высота круга должна быть не менее 0,7 и не более глубины отверстия, если позволяет жесткость шпинделя.

Шлифовальные головки выпускаются семи типов, размерами (диаметр × высота) от 3×6 до 40×60 мм.

Все они применяются для внутреннего шлифования и зачистки на станках с гибким валом. Имеют глухое отверстие (в кругах сквозное) и крепятся на валу приклеиванием. Обозначаются следующим образом: AW – цилиндрические, DW – угловые, EW – конические, KW – конические с закругленной вершиной, FW – шаровые с цилиндрической боковой поверхностью, F-2W – шаровые, F-1W – сводчатые.

Сегменты (СП, 1С, 2С,...10С) выпускаются одиннадцати типов и предназначены главным образом для плоского шлифования.

Бруски (БКв, БП, БТ, БКр, БПкр) выпускаются шести форм – соответственно квадратные, плоские, треугольные, круглые, полукруглые.

БКв, БП используются в основном для хонингования и суперфиниша, а остальные – для слесарных работ.

Инструменты из алмаза и кубического нитрида бора (круги, бруски, надфили) представляют собой металлический (алюминиевый или стальной) или пластмассовый корпус с тонким слоем, состоящим из порошка алмаза или кубического нитрида бора, связки, наполнителя и пор.

Такая конструкция инструментов позволяет почти полностью использовать рабочий слой. Только малые круги изготавливаются без корпуса. Формы и размеры кругов и других инструментов весьма разнообразны.

Круги: 1А1 – прямого профиля; А2 – чашечные; 12А – тарельчатые; |F|X – полукругло-выпуклые; 6А2 – плоские с выточкой; 9А3 – плоские с двусторонней выточкой и др.

Если инструмент выполнен из природного алмаза, то перед условным обозначением его формы ставится буква А, из синтетического алмаза – АС, из КНБ – Л.

В табл. 7 приведены ранее применяемые и соответствующие им новые обозначения типов абразивного инструмента.

Таблица 7. Соответствие старого и нового обозначения типа абразивного инструмента

Рекомендуемая цифровая маркировка	Ранее применяемая буквенная маркировка	Тип
1	(ПП)	Прямой профиль
2	(К)	Кольцевые
3	(ЗП)	Конический профиль
4	(П)	Двухсторонний конический профиль
5	(ПВ)	С выточкой
6	(ЧЦ)	Чашечные цилиндрические
7	(ПВД)	С двухсторонней выточкой
11	(ЧК)	Чашечные конические
12,14	(Т, 1Т)	Тарельчатые
23	(ПВК)	С конической выточкой
26	(ПВДК)	С двухсторонней конической выточкой
36	(ПН)	С запрессованными крепежными элементами
5	С	Трапецевидные
6	С	Специальные

3. Маркировка абразивных кругов

Маркировка наносится четко водостойкой краской и должна содержать следующие данные: вид абразивного материала, номер зернистости, степень твердости, вид связки, номер структуры, типоразмер инструмента и его класс точности, номера маршрутного листа и стандарта, сокращенное название или товарный знак завода-изготовителя. Кроме того, для

кругов должны указываться допустимая рабочая скорость и класс уравновешенности.

Для инструментов малых размеров некоторые из перечисленных характеристик указываются на упаковке или в сопроводительных документах. Иногда некоторые параметры абразивных инструментов заводами-изготовителями не указываются. Приведем примеры ранее применяемых обозначений некоторых абразивных инструментов.

Пример 1. 25A25PC27K6 ПП 300×40×127 А кл. 2 35 м/с ГОСТ 2424–83. Круг из абразивного материала 25А (электрокорунд белый марки 5) содержит 99,3% Al_2O_3 . Зернистость 25, максимальный размер абразивного зерна 0,25 мм. Содержание основной фракции П (повышенное 45...55%). Степень твердости С2 (средняя вторая). Связка керамическая (рецептура 6). Структура 7 (объем пор составляет 54%). Круг шлифовальный плоский прямого профиля ПП размерами $D \times H \times d = 300 \times 40 \times 127$ мм, класс точности изготовления круга А (изготавливаются трех классов – АА, А и Б), класс уравновешенности 2 (изготавливаются четырех классов – 1, 2, 3, 4), допустимая рабочая скорость до 35 м/с, изготовлен по ГОСТ 2424–83.

Между классами точности изготовления кругов и классами неуравновешенности существует зависимость, которая приведена в табл. 8.

Таблица 8. Соответствие классов точности классам неуравновешенности

Класс точности	АА	А	Б
Класс неуравновешенности	1	1, 2	1...3

Пример 2. 63СМ28НСМ27К10 Б Б_{КВ} 20×200 ГОСТ 14786–83. Брусok из абразивного материала 63С, зернистость М28, содержание основной фракции Н, степень твердости СМ2, связка керамическая К10, структура 7, класс точности изготовления Б, квадратный (Б_{КВ}) размерами $H \times P \times L = 20 \times 20 \times 200$ мм, изготовлен по ГОСТ 4786–83.

Пример 3. АW 8×10 24А25НСТ16К А 35 м/с ГОСТ 16167–80. Головка цилиндрическая $D \times H = 8 \times 10$ мм из абразивного материала 24А, зернистость 25Н, степень твердости СТ1, структура 6, связка керамическая, класс точности А, допустимая рабочая скорость 35 м/с.

На рис. 1–3 приведены общие виды абразивных кругов с современными примерами их информационного оформления.

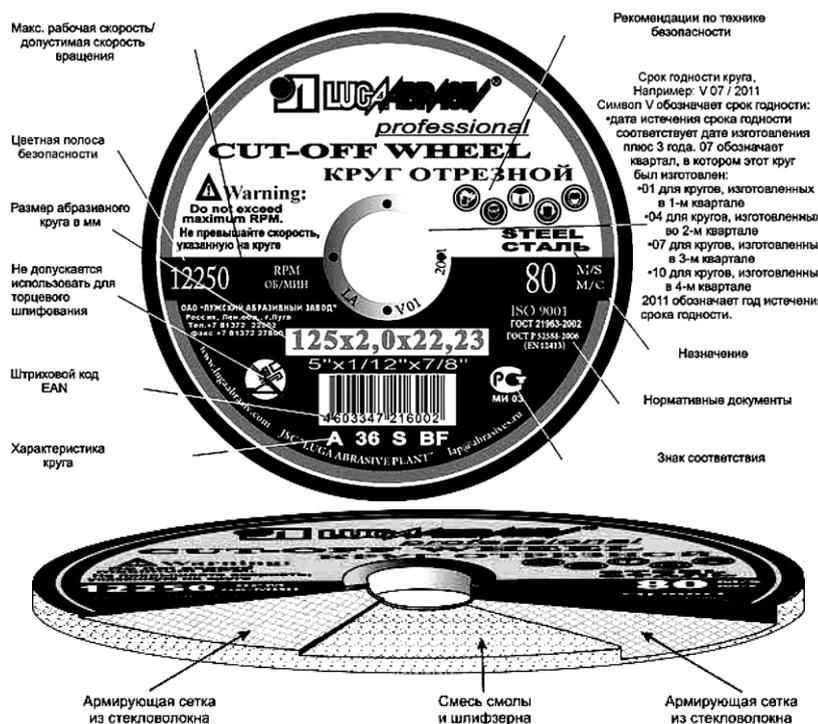


Рис. 1. Общий вид отрезного круга с примером информационного оформления.

Рассмотрим характеристику круга – А 36 S BF: А – вид абразивного материала (электрокорунд); 36 – номер зернистости (36); S – твердость (твердый); BF – связка (бакелитовая с упрочнением).



КОНСТРУКЦИЯ

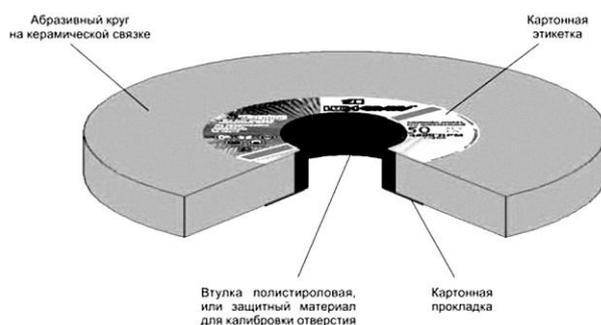


Рис. 2. Общий вид плоского прямого круга с примером информационного оформления.

Рассмотрим характеристику круга – 25А 60 L 6 V 2: 25А – вид абразивного материала (электрокорунд белый); 60 – номер зернистости (F60); L – твердость (среднемягкий–СМ2); 6 – номер группы структуры (средняя); V – связка (керамическая); 2 – класс уравнишенности (второй).

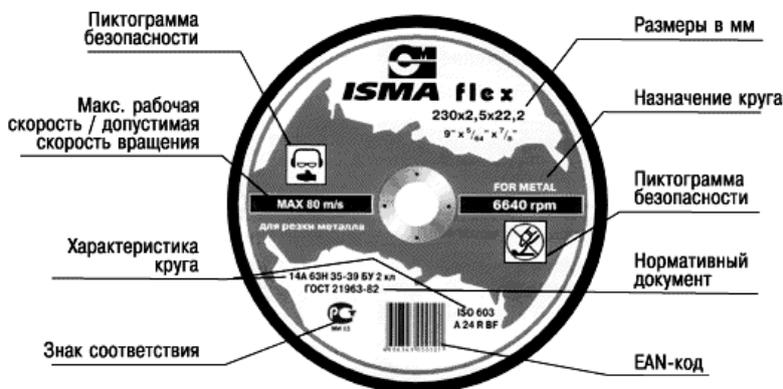


Рис. 3. Пример условного обозначения абразивного круга «ИСМА».

Рассмотрим характеристику круга – 230×2,5×22,2 14А63Н39 БУ 80 м/с 2 кл ГОСТ 21963-82: 230×2,5×22,2 – (D×Т×Н) – внешний диаметр × высота × диаметр отверстия; 14А – марка шлифматериала; 63Н – зернистость; 39 – звуковой индекс; Б – связка; У – наличие упрочняющего элемента; 80 м/с – рабочая скорость; 2 кл – класс неуравновешенности; ГОСТ 21963–82 – нормативный документ.

4. Выбор абразивных инструментов

Успешная и качественная работа абразивного инструмента зависит от многих факторов и прежде всего от правильного выбора его характеристики и режима работы. Выбор характеристики инструмента зависит от свойств обрабатываемого материала, вида обработки, требований к качеству и точности поверхности, мощности и жесткости станка и ряда других условий.

Примерные характеристики абразивных инструментов для выполнения некоторых работ приведены в табл. 9–13.

Таблица 9. Выбор шлифовального материала

Характеристика обрабатываемого материала и выполняемой операции	Марка абразивного материала						
	13A	14A	25A	53C	54C	63C	64C
Обработка материалов с высоким сопротивлением разрыву. Это обдирка стальных отливок, поковок, проката, сталитых высокопрочных и отбеленных чугунов, ковкого чугуна, получистовая обработка различных деталей машин из углеродистых и легированных сталей в незакаленном и закаленном виде, марганцовистой бронзы, никелевых и алюминиевых сплавов	•	•					
Обработка закаленных деталей из углеродистых, быстрорежущих и нержавеющей сталей, хромированных и нитрированных поверхностей			•				
Обработка тонких деталей и инструментов, когда отвод тепла образующегося при шлифовании затруднен (штампы, зубья, шестерни, резьбовой инструмент, тонкие ножи, лезвия, стальные резцы, сверла, деревообрабатывающие ножи и т.п.)			•				
Обработка деталей (плоское внутреннее и профильное шлифование) с большой площадью контакта между кругом и обрабатываемой деталью, сопровождающаяся обильным теплообразованием. Отделочное шлифование (хонингование, суперфиниширование и т.д.)			•				
Обработка твердых материалов с низким сопротивлением разрыву (чугун, бронзовое и латунное литье, твердые сплавы, драгоценные камни, стекло, мрамор, гранит, фарфор, твердый каучук, кости и т.п.), а также очень вязких материалов (жаропрочных сталей, сплавов, меди, алюминия, резины)				•	•	•	•

Таблица 10. Выбор абразивного инструмента по твердости

Вид обработки	Степень твердости инструмента									
	BT1-CT1	CT2-T2	C2-CT2	C1-CT1	C2-CT2	CM1-C2	C1-C2	CM1-CM2	M2-CM2	M2-M3
Правка абразивных инструментов, шлиф. шариков, шарикоподшипников	•									
Обдирочные операции, ведущиеся вручную. Круглое наружное шлифование методом врезания при необходимости сохранения профиля круга. Бесцентровое шлифование ведущими кругами, хонингование отверстий небольших диаметров		•								
Предварительное круглое наружное и бесцентровое шлифование сталей (преимущественно незакаленных), ковкого чугуна			•							
Плоское шлифование сегментами и кольцевыми кругами, хонингование и резьбошлифование кругами на бакелитовой связке				•						
Профильное шлифование, обработка прерывистых поверхностей, хонингование и резьбошлифование кругами на бакелитовой связке					•					
Чистовое и комбинированное круглое, наружное бесцентровое и внутреннее шлифование стали, плоское шлифование периферией круга, резьбошлифование деталей с крупным шагом						•				

Заточка режущего инструмента									
Вручную								•	
С механической или автоматической подачей								•	
Плоскошлифование торцом круга									•
Заточка и доводка режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, шлифование трудно обрабатываемых специальных сплавов									•

Таблица 11. Выбор связки абразивного инструмента

Керамическая связка	Бакелитовая связка
Инструмент на керамической связке применяют для всех видов шлифования, кроме обдирки (из-за хрупкости связки), разрезки и прорезки узких пазов, плоского шлифования сегментными кругами, шлифования желобов колец шарикоподшипников. Инструмент на керамической связке <i>хорошо сохраняет профиль, имеет высокую пористость, хорошо отводит тепло</i>	Инструмент на бакелитовой связке применяют для грубых обдирочных работ, выполняемых вручную и на подвесных станках, плоском шлифовании торцом круга, отрезке и прорезке пазов, заточке инструментов, при обработке тонких изделий, где опасен прижег. Недостаток бакелитовой связки – невысокая стойкость к щелочным жидкостям. Бакелитовая связка оказывает полирующее действие

Таблица 12. Выбор структуры шлифовального круга

Вид обработки	Номер структуры				
	1–3	3–4	5–6	7–9	8–10
Чистовая обработка твердых и хрупких материалов при больших давлениях	•				
Фасонное шлифование при необходимости сохранить профиль круга, шлифование при больших, а также переменных нагрузках, отрезке		•			
Круглое наружное шлифование, бесцентровое шлифование, плоское шлифование периферией круга и заточка инструмента			•		
Плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование				•	
Шлифование и заточка инструментов					•
Резьбошлифование мелкозернистыми кругами					•

Таблица 13. Выбор зернистости шлифовального круга

Вид обработки	Зернистость				
	125–80	80–50	63–25	32–16	12–6
Обдирочные операции с большой глубиной резания, зачистка заготовок, отливок, поковок, штамповочных изделий. Обработка материалов, которые вызывают заполнение пор и засаливание его поверхности (латунь, медь, алюминий и т.д.), а также при большой площади контакта круга с обрабатываемой поверхностью	•				
Плоское шлифование торцом круга, заточка средних и крупных резцов, правка абразивного инструмента, отрезка		•			
Предварительное и комбинированное шлифование (предварительное и окончательное шлифование выполняется без съема изделия со станка), заточка режущего инструмента			•		
Чистовое шлифование, обработка профильных поверхностей, заточка мелкого инструмента, шлифование крупных материалов				•	
Отделочное шлифование, доводка твердых сплавов и режущего инструмента, предварительное хонингование, заточка тонких лезвий					•

5. Рекомендации по безопасной эксплуатации абразивного инструмента

5.1. Инструменты на керамической связке

При транспортировке и хранении инструмент не должен подвергаться механическим воздействиям. При попадании влаги его необходимо высушить, проверить дисбаланс кругов. Не полностью высушенные круги имеют повышенный дисбаланс и при работе могут разорваться.

Рекомендации по безопасному применению инструментов:

1. Круги перед использованием необходимо осмотреть. Они должны быть без видимых повреждений. Отсутствие трещин проверяется простукиванием их в подвешенном состоянии деревянным молоточком массой 150–200 г. Круг без трещин издает чистый звук.

2. При сборке между кругом и фланцами, используемыми для крепления круга, должны ставиться прокладки, которые перекрывают прижимную поверхность и равномерно выступают наружу по всей окружности.

3. После сборки круги вместе с фланцами балансируются и устанавливаются на станок.

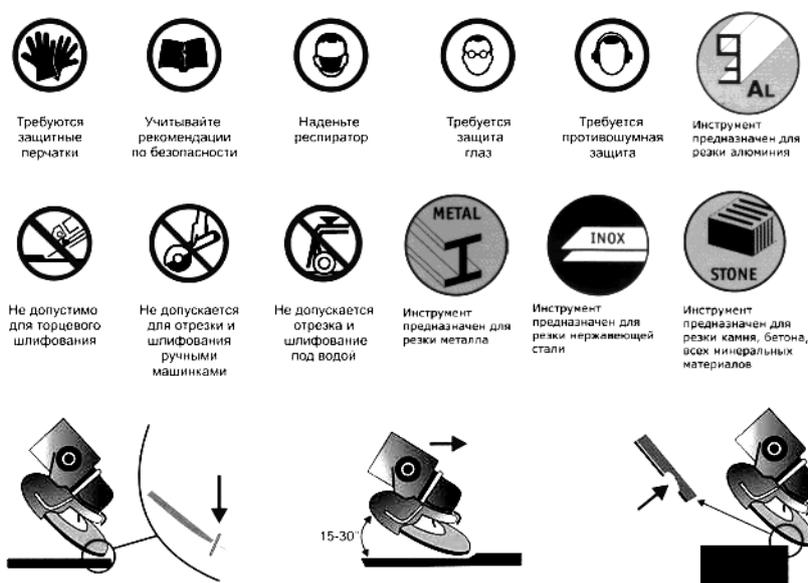
4. После установки круги закрываются средствами защиты (кожухом, металлическим экраном и т.д.), входящими в состав оборудования, и проводится пробный пуск продолжительностью 5–10 минут.

5. Керамическая связка хрупкая, инструмент, изготовленный на этой связке, не следует применять при обработке прерывистых поверхностей (зачистка сварных швов и т.д.).

6. Скорость вращения круга не должна превышать скорость, указанную на круге. По мере срабатывания круга можно увеличивать количество оборотов, но линейная скорость круга не может быть превышена.

7. Для защиты следует использовать защитные очки, респиратор от пыли, перчатки и специальную обувь и пр.

На рис. 1–4 приведены в виде пиктограмм и схем предупреждающие обозначения, которые необходимо соблюдать при эксплуатации абразивного инструмента.



В целях равномерного срабатывания шлифовальных кругов рекомендуется периодически менять угол наклона ручной машинки и чередовать обработку острых граней с шлифовкой плоскости

Рис. 4. Условные предупреждающие обозначения о соблюдении правил работы с абразивными инструментами и рекомендуемые приемы работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Природные абразивные материалы, область их рационального применения.
2. Названия и марки наиболее распространенных искусственных абразивных материалов.
3. Область применения электрокорунда нормального и белого.
4. Область рационального применения карбида кремния зеленого.
5. Маркировка абразивных материалов по зернистости.
6. Типы связок абразивных инструментов, их характеристика и маркировка.
7. Твердость абразивных инструментов, правила их выбора по твердости.
8. Структура абразивного инструмента.
9. Классы точности и неуравновешенности абразивного инструмента.
10. Условные обозначения, приведенные на информационном поле круга.

ЗАТОЧКА ЛЕЗВИЙНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Заточка лезвийного режущего инструмента производится при изготовлении, а также в процессе эксплуатации для восстановления его режущей способности.

Заточка может производиться на точильно-шлифовальных станках с удержанием режущего инструмента в руках, но она малопроизводительна и не обеспечивает надлежащего качества режущих кромок инструмента. Более эффективная и качественная заточка достигается на специальных заточных станках.

Цель работы: изучение конструкций заточных станков, приобретение практических навыков в их настройке и заточке основных видов инструмента, сравнительная оценка качества заточки инструментов вручную и с помощью специального оборудования.

Оборудование рабочего места. Заточные станки ЗБ634, ЗБ632В, ЗА64, ЗБ652. Стенд с абразивными инструментами и приспособлениями к заточным станкам. Режущий инструмент, подлежащий заточке. Измерительный инструмент: универсальный угломер, штангенциркуль. Плакаты. Методические указания к лабораторной работе.

Порядок выполнения работы. Выбрать абразивный инструмент для заточки резцов, сверл, фрез и др. Произвести настройку заточных станков для заточки инструментов (по заданию преподавателя). Произвести заточку инструментов. Проверить качество заточки.

Содержание отчета по лабораторной работе. Указать абразивный материал для заточки инструмента. Дать краткое описание настройки станков для заточки инструмента (по заданию преподавателя). Порядок заточки резцов, сверл, фрез и других инструментов (по заданию преподавателя). Произвести замеры геометрии инструмента после заточки и сделать выводы, указав область его рационального применения.

1. Заточка резцов

Элементами резца, подлежащими заточке, являются: передняя поверхность, главная задняя и вспомогательная задняя поверхности, вершина резца.

В результате заточки должны быть получены следующие углы поверхностей резцов, заданные условиями на заточку: задний угол α у режущей кромки и $\alpha + (3-7^\circ)$ по корпусу; вспомогательные задние углы α_1 и α_2 у вспомогательной режущей кромки и $\alpha_1(\alpha_2) + (3-4^\circ)$ по корпусу; главный угол в плане φ и вспомогательные углы в плане φ_1 и φ_2 ; передний угол γ ; фаска по передней поверхности шириной f мм, передний угол по фаске γ_f ; Угол наклона главной режущей кромки λ ; радиус закругления вершины резца r_b мм; стружколоматели (стружкозавиватели) в виде канавки или уступа.

Затачивают резцы на точильно-шлифовальных, специальных и универсально-заточных станках. Наиболее рациональной является следующая схема их заточки:

- черновая заточка на точильно-шлифовальном станке;
- чистовая заточка на алмазно-заточном или универсально-заточном станке;
- доводка резца.

1.1. Заточка резцов на точильно-шлифовальном станке модели ЗБ634

1.1.1. Назначение и конструкция станка

Станок предназначен для заточки быстрорежущих и твердосплавных резцов высотой до 100 мм, заточки слесарных инструментов, снятия с деталей заусенцев, фасок и т. д. При наличии специальных приспособлений на нем можно производить заточку сверл диаметром 12–50 мм, шлифовку деталей абразивной лентой, полировку деталей полировальными кругами.

На верхней части станины 1 коробчатой формы (рис. 1.1) крепится двухскоростной электродвигатель 14 мощностью $N = 2-3$ кВт и частотой вращения вала $n = 670$ и 1360 мин⁻¹. Вал двигателя является шпинделем станка.

Охлаждение двигателя осуществляется за счет циркуляции воздуха, прогоняемого вентилятором, насаженным на вал ротора, через окна в опорных приливах, связывающих внутренние полости станины и двигателя.

На шпинделе станка установлены переходные фланцы, между которыми зажимаются абразивные круги 10 формы ПП 400x50x203 и 21 формы ПВ 400x50x203. С наружной стороны переходные фланцы имеют кольцевые пазы, в которых крепятся по три сухаря для статической балансировки кругов.

Защитные кожухи 12 и 19 с передней стороны имеют зев для доступа к шлифовальному кругу. В верхней части зева кожухи имеют козырьки 11 и 20. Между ними и кругами должен поддерживаться зазор не более 6 мм. В нижней части имеются выдвижные заслонки 8 и 27, позволяющие получить более эффективный отсос пыли. Боковые наружные стенки кожухов крепятся шарнирно для удобства доступа к кругам при их осмотре и замене. Внизу кожухи заканчиваются отъемной частью 2 и 29, в которой собирается до 40% пыли, отсасываемой из рабочей зоны.

С задней стороны кожухи оснащены патрубками для подсоединения к вытяжной сети, а в передней части – съемными бачками 4 и 28 для охлаждающей жидкости. Сверху к кожухам прикреплены защитные экраны 13 и 18 со светильниками. Экраны можно поворачивать в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В каждый светильник вмонтировано две лампы по 41,6 Вт напряжением 12 В.

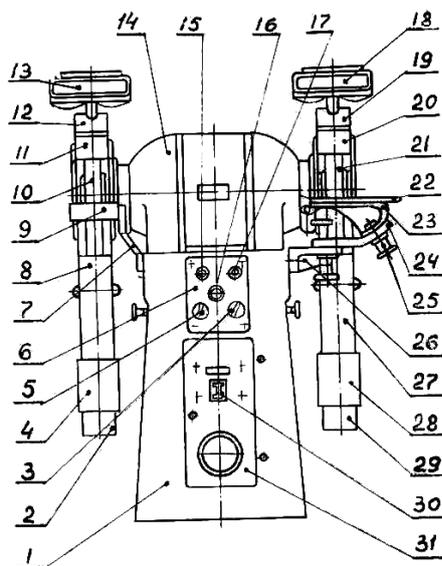


Рис. 1.1. Точильно-шлифовальный станок модели 3Б634.

К боковым поверхностям станины болтами прикреплены кронштейны 7 и 26, на которых установлены подручник 9 и поворотный столик 22. Подручник имеет плоскую и криволинейную рабочую поверхность. Плоская используется при заточке резцов и шлифовке деталей с плоской опорной поверхностью. Криволинейная – когда деталь не имеет хорошей опорной плоскости или при необходимости частой перенастройки угла поворота подручника. Подручник можно перемещать в вертикальной и горизонтальной плоскостях и поворачивать вокруг оси.

Основное назначение столика 22 – заточка резцов. Он состоит из двух стальных плит, прикрепленных к чугунному кронштейну 23, болтами. Кронштейн можно поворачивать на необходимый угол по криволинейной направляющей 24 и фиксировать болтом 25. Для компенсации износа круга столик имеет три возможных перемещения. Зазор между кругами столиком или подручником должен составлять не более 3 мм.

На передней стенке станины прикреплена панель 6, на которой смонтированы кнопки 15 «670 мин⁻¹», 17 «1360 мин⁻¹», 16 «стоп» и выключатели светильников 3 и 5. Ниже панели шарнирно крепится дверка 31 ниши с выключателем 30 вводного автомата.

1.1.2. Черновая заточка резцов

Черновая заточка резцов производится в нижеприведенной последовательности.

1. Заточка главной задней поверхности по корпусу (для резцов с напаянной или приваренной режущей пластиной) под углом $\alpha + (5-7^\circ)$.

2. Заточка главной задней поверхности по пластинке под углом $\alpha + (3-4^\circ)$.

3. Заточка вспомогательной задней поверхности под углом $\alpha_1(\alpha_2) + (3-4^\circ)$. Резец при заточке задних поверхностей удерживают в руках и ставят основанием на предварительно повернутый на нужный угол подручник станка. Резец устанавливают так, чтобы его затачиваемая поверхность располагалась параллельно рабочей поверхности круга, а режущая кромка находилась на уровне центра круга или на 3–5 мм выше его. Шлифовальный круг должен вращаться в направлении от режущей кромки к корпусу резца.

4. Заточка передней поверхности под углом $\gamma + 2^\circ$. Заточка корпусов резцов и резцов из инструментальных сталей производится электрокорундовыми кругами, а твердосплавных – кругами из карбида кремния зеленого, характеристики которых должны быть правильно выбраны.

Нельзя при заточке допускать сильного нагрева рабочих поверхностей резца. Это может привести к появлению прижогов и микротрещин. По той же причине нельзя охлаждать твердосплавные резцы при заточке периодическим опусканием в воду.

Качество заточки на точильно-шлифовальных станках во многом зависит от квалификации и практических навыков рабочего, так как заточка ведется без охлаждения, а инструмент удерживается в руках и ориентируется при заточке относительно шлифовального круга глазомерно.

1.1.3. Чистовая заточка резцов

Чистовая заточка резцов может быть произведена на специальных или универсальных заточных станках абразивными, алмазными или эльборовыми кругами, а доводка – с помощью алмазных и эльборовых кругов или чугунных доводочных дисков, поверхность которых покрывается абразивной пастой зернистостью 3–4 и мельче.

Последовательность чистовой заточки.

1. Заточка **передней поверхности** под углом γ .

2. Заточка **главной задней поверхности** под углом α .

3. Заточка **вспомогательной задней поверхности** под углом $\alpha_1(\alpha_2)$.

4. Заточка **вершины** резца с радиусом закругления r_B .

1.2. Заточка резцов на алмазно-заточном станке модели ЗБ632В

1.2.1. Назначение и конструкция станка

Станок предназначен для заточки и доводки твердосплавных резцов высотой до 50 мм алмазными и другими абразивными кругами.

На верхней части станины 1 коробчатой формы (рис. 1.2) крепится двухскоростной электродвигатель 13 АВ-32-4/2, на валу ротора которого с двух сторон закреплены с помощью фланцев и зажимных шайб алмазные круги 26 формы АЧК 200х20, АЧК 200х10 или круги на керамической связке – ЧЦ 200х63х32.

Охлаждение двигателя происходит через окна как и у станка ЗБ634. Защитные кожухи 7 сварные, крепятся на цапфах крышек двигателя. Передняя торцевая часть кожухов снабжена переставляемой заслонкой 25, защищающей от брызг при работе с охлаждением. С этой же целью каждое рабочее место ограждено П-образными кожухами 12 с боковыми откидными дверками, а с рабочей стороны подвешенными прозрачными щитками 8.

На цилиндрических направляющих 6, прикрепленных к станине станка, уложено основание осциллирующего столика 14 (столиков на станке два), которое можно перемещать вращением винта с маховичком 32, оборудованным лимбом.

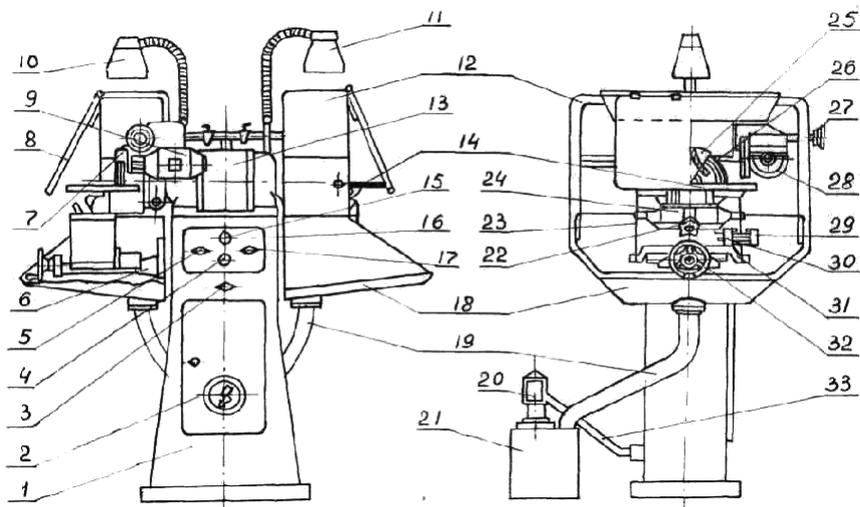


Рис 1.2. Алмазно-заточной станок модели 3Б632В.

К основанию с помощью пластинчатых пружин 23 крепится цилиндрическая направляющая 24. За счет пружин осуществляется осцилляция столика вдоль плоскости шлифовального круга, величина которой регулируется с помощью упоров 29 и 30.

На цилиндрической направляющей с помощью винта 22 крепится корпус столика со стальной шлифованной плитой 14 (рис. 1.2) с тремя прорезями. Отсчет угла поворота столика производится по его левой боковой шкале 34 (см. рис. 1.3). На площадке столика могут крепиться следующие приспособления: транспортер 35, транспортер с зажимным устройством 36, наклонный столик 37 для заточки передних поверхностей отогнутых резцов.

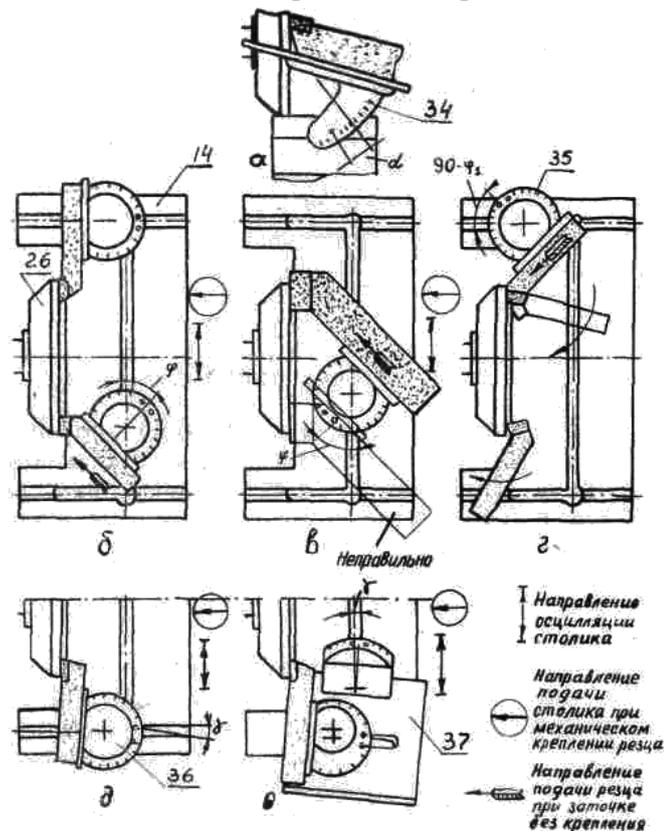


Рис 1.3. Схемы заточки резцов на алмазно-заточном станке.

Приспособление для заточки стружколомающих (стружкозавивающих) канавок (лунок) с помощью кронштейна крепится к левому фланцу корпуса электродвигателя станка. Оно состоит из электродвигателя 9 АОЛ11-2 ($N=180$ Вт, $n = 2800$ мин⁻¹), который соединен с кронштейном шарнирно и может поворачиваться относительно его вверх или вниз, за счет

чего устанавливается с помощью винта с лимбом глубина канавки (лунки).

На валу двигателя крепится дисковый алмазный круг, усилие врезания которого обеспечивается тарировочной пружиной, поднимающей двигатель вверх.

Для ориентации резца относительно круга при заточке приспособление имеет опорную планку, упор для вершины резца, клиновой упор для режущей кромки резца и суппорта, который можно перемещать с помощью винта с маховичком 27 по направляющим, прикрепленным к кронштейну приспособления.

Смазочно-охлаждающая жидкость в зону обработки (рис.1.2) подается из бака 21 электронасосом 20 типа ПА-22 ($N = 0,12$ кВт, $n = 2800$ мин⁻¹) по гибкому шлангу 33. Отработанная жидкость сливается в корыто 18 и оттуда через фильтры и резиновые шланги 19 – в отстойник бака.

На передней стенке станины прикреплена панель 16, на которой смонтированы кнопки 15 «пуск» и 4 «стоп», переключатель частоты вращения 5, переключатель реверса 17, два выключателя светильников 10 и 11, закрепленных на головке станка. Под панелью установлен выключатель 3 двигателя приспособления, а ниже его – дверка 2 ниши с кнопочным выключателем сети.

1.2.2. Заточка резцов

При заточке прямых резцов (рис.1.3) по передней поверхности резец укладывается на столик 14 боковой плоскостью его корпуса (рис. 5.3, д). а основанием прижимается к опорной поверхности планки транспортира 36 и крепится прихватом транспортира.

По шкале транспортира устанавливается необходимый угол γ , а поворотом столика 14 по лимбу 36 (рис.1.3,а) – угол λ . Величина осцилляции столика устанавливается упорами 29 и 30 (см.рис.1.2), при этом нельзя допускать схода резца с алмазной поверхности круга. Подача резца на круг осуществляется вместе со столиком вращения маховичка 32.

Для заточки передних поверхностей отогнутых резцов (рис.1.3,е) на столик устанавливается специальное приспособление, состоящее из наклоненной под углом 38° площадки 37 с пазом для крепления транспортира 36. Транспортир крепят в пазу площадки и совмещают «0» транспортира с кромками паза. Остальная настройка – как и при заточке прямых резцов по передней поверхности.

При заточке резцов по задним поверхностям (рис.1.3, б и в) и вспомогательным задним (рис.5.3,г) резец опорной поверхностью устанавливается на столик 14 станка. Углы α и α_1 устанавливаются по шкале 34 путем поворота столика. Боковой поверхностью резец прижимается к планке транспортира так, чтобы длина их взаимного контакта была наибольшей (рис.5.3,в). Транспортир устанавливается на угол ϕ или ϕ_1 (рис.5.3, б и в) или $(90-\phi_1)$ (рис.5.3,г) для проходных резцов и $(\phi-90^\circ)$ для подрезных и закрепляется так, чтобы середина затачиваемой режущей кромки резца совпала с серединой алмазного кольца круга. Величина осцилляции устанавливается по упорам и должна быть такой, чтобы резец не сходил при заточке за кромки кольца круга.

При углах ϕ и ϕ_1 меньше 45° предпочтительнее крепить резец в транспортире с зажимом и подачу на круг при заточке осуществлять вместе со столиком вращением маховичка 32 (см.рис.1.2). В остальных случаях резец прижимают при заточке к столику и планке транспортира одной рукой, а другой рукой, перемещая вдоль планки транспортира, подают его на круг. Зазор между кругом 26 и столиком 14 должен быть минимальным, но таким, чтобы при работе круг не касался столика.

Заточка фаски по передней поверхности производится аналогично заточке переднего угла (см.рис.1.3, д или е), но резец поворачивается не на угол γ , а на угол фаски γ_1 .

Режим заточки:

- продольная подача $S_{пр} = 2-4$ м/мин;
- поперечная подача ($S_{поп}$) на 10 двойных ходов столика;
- предварительная заточка $S_{поп} = 0,1-0,2$ мм;

– чистовая заточка $S_{\text{поп}} = 0,03-0,06$ мм;

– доводка $S_{\text{поп}} = 0,01-0,02$ мм.

При ручной заточке давление резца на круг не должно превышать 0,7–1,2 МПа (7–12 кгс/см²), а при заточке фасок размером 10x2 мм усилие прижима не должно превышать 20–25 Н (2–2,5 кгс).

Заточка радиуса закругления вершины резца производится вручную, поворотом резца относительно круга (рис.1.3,г). Столик должен быть установлен на угол α (рис.1.3,а), осцилляция его не требуется. Охлаждение при заточке должно быть непрерывным (2–3 л/мин).

Для заточки стружколомающих (стружкозавивающих) канавок (лунок) резец передней поверхностью устанавливается на площадочку с прорезью для круга опорной планки приспособления и вершиной прижимается левой рукой к упору в положении «правый» или «левый», в зависимости от типа резца, а режущей кромкой – к поверхности клина.

Для установки глубины канавки (лунки) вращением маховичка подъема и опускания круга подводят круг 28 (см. рис. 1.2) до касания с передней поверхностью резца и затем по лимбу этого же маховичка дальнейшим его вращением устанавливается требуемая глубина.

Расстояние от канавки (лунки) до режущей кромки устанавливается путем перемещения клиновой планки с отсчетом величины перемещения по ее шкале. При заточке лунки расстояние от вершины резца до лунки устанавливается по лимбу маховичка 27 перемещением суппорта. Радиус профиля канавки (лунки) равен радиусу закругления круга 28.

Каретка приспособления с исходного положения должна быть отведена настолько, чтобы круг не касался резца. Затем, вращая правой рукой маховичок 27, перемещают каретку, обрабатывая канавку. При заточке лунок смещения с исходного положения и перемещения каретки не требуется. Охлаждающая жидкость тонкой струей или каплями должна подаваться на лоток защитного кожуха круга 28.

Включение двигателя 9 приспособления рекомендуется производить при выключенном главном двигателе (положение выключателя 5 «0»).

2. Заточка спиральных сверл

Заточку спиральных сверл производят по задним поверхностям зубьев, соблюдая следующие требования: режущие кромки зубьев должны быть прямолинейными, одинаковой длины и симметрично расположены относительно оси сверла. При этом должны быть получены требуемые значения задних углов α , углов при вершине 2φ и угла наклона перемычки ψ .

Заточка может быть произведена на специальных заточных станках или точильно-шлифовальных и универсальных при наличии специальных приспособлений по одному из следующих методов:

– коническая заточка, когда задние поверхности сверла затачиваются по конусу. Различают две разновидности этого способа: по Вашбурну, когда по мере приближения к оси сверла углы α увеличиваются и по Вейскеру, когда они уменьшаются;

– винтовая заточка, когда задние поверхности затачиваются по винтовым поверхностям;

– плоская заточка, используемая для мелких сверл (диаметром до 3 мм) и реже – для сверл больших диаметров.

2.1. Назначение, конструкция и работа заточного станка модели ЗБ652

Станок предназначен для заточки по методу Вашбурна правых спиральных сверл диаметром от 3 до 12 мм и с углом при вершине $2\varphi = 70-140^\circ$. На верхней части станины 1 коробчатой формы (рис.2.1.) болтами крепится шлифовальная бабка 12, во втулках которой помещена гильза с установленным в ней на подшипниках шпинделем. На левом конце шпинделя крепится шлифовальный круг 17 формы ПП 125x16x32, а на правом – шкив, приводящий во вращение шпиндель с частотой $n = 4000$ мин⁻¹.

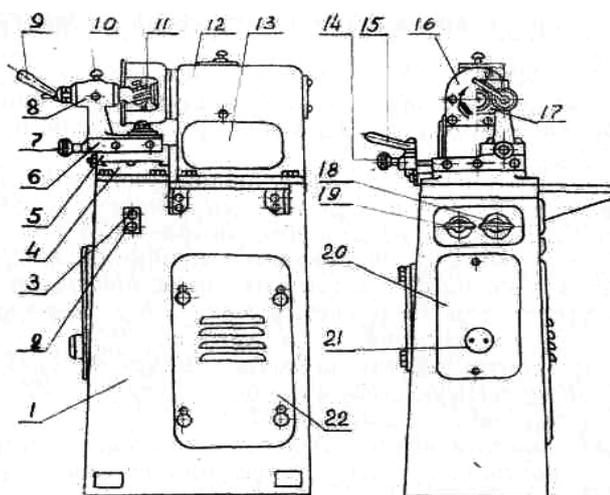


Рис.2.1. Заточной станок модели 3Б652.

Внутри станины под шпинделем помещен червячный редуктор, получающий вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. На торце червячной шестерни редуктора укреплен ролик, который сообщает при вращении колеса качательное движение вилке, охватывающей гильзу шпинделя, чем и обеспечивается поступательно-возвратное движение ее вместе со шпинделем и шлифовальным кругом с частотой 19,2 двойных ходов в минуту и амплитудой 20 мм. Привод осуществляется от электродвигателя АОЛ22-2 ($N=0,6$ кВт; $n=2850$ мин⁻¹), размещенного внутри станины под редуктором, передающим через два клиновых ремня вращение шпинделю бабки и червяку редуктора.

Сверлодержатель 11 крепится в торцевом пазу гильзы, вставленной во втулку поворотной стойки 8, установленной на суппорте. От проворачивания гильза может удерживаться фиксатором 10. Держатель 11 можно перемещать при отпущенной рукоятке 9 вдоль паза гильзы вверх или вниз установочным винтом.

В держателе закреплены постоянная неподвижная и сменная (для диаметров 3–5; 5–9 и 9–12 мм) подвижная губка и упоры: продольный, ограничивающий вылет сверла, и боковой, ограничивающий поворот сверла вокруг собственной оси.

Суппорт состоит из основания 4, продольных 6 и поперечных 5 салазок, которые можно перемещать вращением соответственно винтов 7 и 14 вдоль оси шпинделя и перпендикулярно ей.

Поворотом рукоятки 15 через эксцентрический палец и втулку с винтом 14 можно перемещать поперечные салазки 5 на величину 0,1 мм. Цена деления лимба 0,025 мм.

Включение станка осуществляется кнопкой 3, смонтированной вместе с кнопкой 2 «стоп» на передней части станины. Включатели сети 18 и светильника 19 у некоторых выпусках станков смонтированы на крышке 20.

Доступ к электродвигателю осуществляется через нишу в станине, закрываемую легко-съемной дверкой 22, а к редуктору – через люк с крышкой 13.

К станку поставляется пылеотсасывающее устройство (пылесос), состоящее из электродвигателя АОЛ21-2 ($N=0,4$ кВт, $n=2800$ мин⁻¹) с вентилятором, соединяемым через гибкий шланг с защитным кожухом 16 круга и матерчатого пылесборника. Пылесос подключается к электрической цепи станка через разъем 21 с помощью гибкого бронированного кабеля.

2.2. Наладка станка

Поворотом стойки 8 сверлодержателя установить необходимую величину угла 2φ по шкале, нанесенной на основание стойки, и риски на суппорте.

Установить в сверлодержателе 11 сменную губку соответствующую диаметру затачиваемого сверла. Установить продольный упор по шкале, нанесенной на нем, и риски на держателе в положение, соответствующее диаметру затачиваемого сверла.

Перемещением подвижной губки установить призмы так, чтобы затачиваемое сверло

легко входило между ними, но без большого люфта. Рукоятку 15 поперечных салазок суппорта поставить в нулевое положение.

2.3. Заточка сверла

Включить станок. Вставить правой рукой сверло в призмы, довести его до упоров продольного и поперечного и удерживать в таком положении.левой рукой освободить гильзу сверлодержателя, вытянув за головку фиксатор 10 и повернув его на 90°.

Вращая левой рукой маховичок 14 поперечной подачи, подвести сверло к кругу до появления искр.

Вращая левой рукой маховичок 7 продольной подачи, установить сверло так, чтобы шлифовальный круг совершал движения симметрично в обе стороны от режущей кромки сверла.

Поворотом рукоятки 15 на одно или несколько делений падасть сверло на круг и, качая его вверх и вниз вместе с держателем во втулке стойки, заточить один зуб.

Вытянуть сверло настолько, чтобы оно сошло с упоров, повернуть его на 180° и вновь подать вперед до упоров.

По аналогии с первым заточить второй зуб, предварительно возвратив рукоятку 15 в нулевое положение, иначе режущие кромки получатся разной длины и сверло будет несимметрично заточенным.

Если сверло сильно затуплено и за одну установку не удастся полностью заточить зуб, то заточку следует вести в несколько приемов без вращения рукоятки 15 в нулевое положение, попеременно снимая с каждого зуба слой металла до 0,1 мм. Рукоятку 15 вернуть в нулевое положение только перед последней заточкой зуба. Если окажется, что величина углов φ и α при заточке не соответствует требуемой, то для увеличения угла φ боковой упор следует опустить, а для уменьшения – поднять. Для увеличения угла α необходимо переместить вниз держатель 11 по торцевому пазу гильзы с помощью установочного винта, а для уменьшения – поднять, предварительно поворотом рукоятки 9 затяжки гильзы освободив сверлодержатель. Правильность настройки проверяется повторной заточкой.

Во избежание появления прижогов и для улучшения чистоты затачиваемых поверхностей необходимо периодически осуществлять правку круга и натирать его рабочую поверхность парафином или воском.

3. Заточка инструментов на универсально-заточном станке модели 3А64Д

3.1. Назначение, конструкция и работа станка

Станок предназначен для заточки основных видов режущих инструментов, круглого и плоского шлифования абразивными (можно использовать алмазные и эльборовые) кругами при помощи ряда приспособлений, входящих в комплект станка или поставляемых по особому заказу.

Все движения в станке, кроме главного и вращения детали при круглом шлифовании, осуществляются вручную. Наибольший диаметр устанавливаемого на станок изделия 250 мм.

На верхней части литой станины 1 станка (рис.7.1) закреплены две направляющие поперечного перемещения нижних салазок 17. Между направляющими в станине расположена горловина. В отверстии горловины вертикально перемещается с помощью маховичков 3 или 20 через червячную и реечную передачу гильза 29. Рейка, закрепленная на гильзе, является одновременно шпонкой, препятствующей повороту гильзы в горловине. От абразивной пыли и охлаждающей жидкости гильза защищена чехлом 34. В отверстие гильзы пропущена колонка 33, на верхнем торце которой закреплена шлифовальная головка 10, а на нижнем, внутри станины, – угольник с натяжным устройством, на котором подвешен электродвигатель ($N = 1,4$ кВт; $n = 1420$ мин⁻¹).

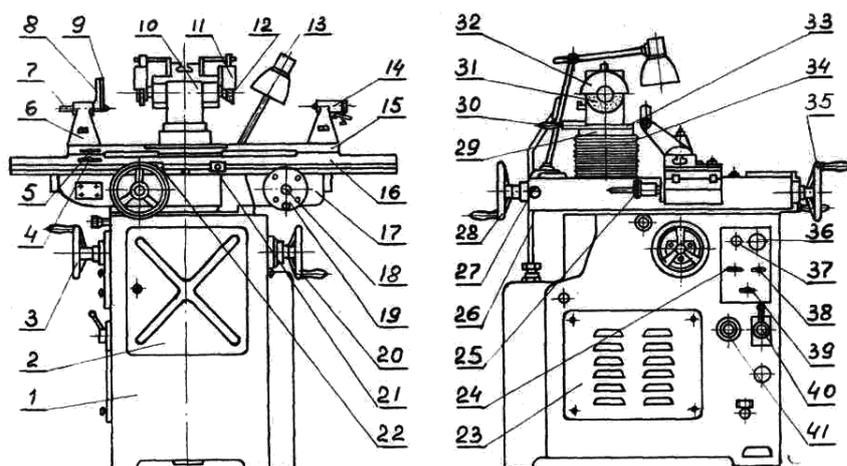


Рис.3.1. Универсально-заточной станок модели 3А64Д.

На валу двигателя насажен четырехручьевого шкив, с которого вращение клиновым ремнем передается на промежуточный вал, а с него плоским тонким бесконечным ремнем – на шпиндель шлифовальной головки с частотой 2240, 3150, 4500 и 6300 мин⁻¹.

Шлифовальная головка состоит из корпуса, в расточках которого в стаканах на двух парах радиально-упорных шариковых подшипниках закреплен, несимметричный по длине шпиндель со шкивом. Шпиндель с обоих концов имеет наружную резьбу под затяжные гайки и конусные гнезда для крепления оправок со шлифовальными кругами 12 и 31.

Крепление оправок с установленными на них шлифовальными кругами производится специальными гайками. Гайка и шпиндель на укороченной стороне имеют левую резьбу. Для крепления оправки необходимо зафиксировать шпиндель с помощью прутка, вставленного через лючок шлифовальной головки в отверстие шпинделя. Затем вставить через отверстие в гайке оправку в шпиндель и затянуть гайку.

Нельзя допускать, чтобы в закрепленном положении риски на оправке находились между рисками на гайке. Вращение шпинделя должно быть по часовой стрелке с торца его укороченной стороны. При снятии оправки выталкивание ее из гнезда шпинделя производится путем отворачивания гайки.

Обязательно после установки шлифовальные круги должны быть ограждены защитными кожухами 11 и 32, которые прилегают к станку.

Корпус 10 имеет продольный разрез, благодаря чему при смене ремня его можно разжать и вынуть шпиндель вместе со стаканами без разборки. Колонку 33 можно вместе с головкой и двигателем поворачивать в гильзе 29 на требуемый угол, отсчет величины которого производится по шкале, нанесенной на гильзе. После поворота колонка фиксируется тормозным устройством путем затягивания гайки рукоятки 30.

Перемещение нижних салазок 17 осуществляется путем вращения винта поперечной подачи с маховичками 28 и 35 или вращением кнопки 27 механизма тонкой подачи. Цена деления лимбов маховичков 3 и 20 – 0,02 мм, а маховичков 28 и 35 – 0,01 мм.

Верхние салазки 16 перемещаются по направляющим нижних салазок на роликовых опорах. Перемещение осуществляется путем вращения одного из маховичков 25 или (замедленное) планетарного механизма 19, включение которого производится подачей вперед кнопки 18. Величина перемещения устанавливается упорами 21 и 22, одна сторона каждого из которых жесткая, а вторая подпружинена для смягчения ударов в крайних положениях верхних салазок.

На кольцевых опорах верхних салазок на оси закреплен поворотный стол 15, поворот которого на угол до 3° можно осуществить, предварительно соединив его с линейкой, поворотом рычажка 5, путем вращения винта с головкой 4. На большие углы стол поворачивается рукой, при этом гайки крепления стола должны быть отпущены. Отсчет угла поворота производится по круговой шкале стола.

При работе с охлаждением жидкость подается насосом ПА-22 из бака, монтируемого

справа от станины, через рукав 26. От разбрызгивания жидкости предохраняют защитные кожухи кругов и ограждение стола и салазок. Сток жидкости происходит через углубления в столе, приставные лотки нижних салазок, углубления в станине и рукав.

Аппаратура защиты и управления электрооборудованием станка смонтирована в нише станины, закрываемой крышкой 2. Доступ к электродвигателю и ременным передачам возможен через окно в станине, закрываемое крышкой 23.

С левой стороны станины прикреплена панель с кнопкой 37 включения главного двигателя, кнопкой 36 «стоп», переключателем 24 включения пылесоса или насоса, переключателем 38 переключения частоты вращения вала двигателя (если он двухскоростной) и переключателем 39 реверса приспособления. Ниже панели смонтирован вводной выключатель 40 и розетка 41 подключения двигателя приспособления для круглого шлифования.

К станку поставляются принадлежности: хомутик, центроискатель, оправка для балансировки кругов с оправками, центр с поводком и набор оправок для кругов. При установке приспособлений, перечень которых приведен ниже, на столе станка необходимо сначала подтянуть установочные винты, находящиеся на передней стороне приспособления, а затем затянуть гайки винтов крепления их к столу.

Перечень приспособлений и их условные обозначения следующие: универсальная головка П1, передняя П2 и задняя П3 бабки, жесткая и универсальная упорки П4, для правки кругов П5, установочный шаблон П9, подручник П13, тиски трехповоротные П16, для наружного круглого шлифования П17, для внутреннего шлифования П18, для заточки зенкеров П19, для заточки метчиков П20А, для заточки фрезерных головок П21, для заточки длинного инструмента П24, для заточки сверл П43, для заточки резцов по радиусу П48 и пылесос. Большинство из них смонтировано на стенде в лаборатории заточных станков кафедры. Там же помещены характеристики приспособлений.

3.2. Заточка фрез

На станке может быть заточено на универсальной головке и центровых бабках без специальных приспособлений большинство фрез и разверток, например, фасонные, резьбовые, дисковые, угловые, торцовые, шпоночные, цилиндрические и другие фрезы с прямым, винтовым, переменным зубом, циркулярные пилы диаметром до 200 мм и развертки всех типов.

Кроме создания требуемой геометрии перечисленного режущего инструмента заточкой необходимо обеспечить также минимальное биение режущих кромок относительно его оси.

В зависимости от формы зуба различают два способа заточки фрез: заточка фрез с затылованным зубом производится по передней поверхности зуба, часто в плоскости, проходящей через ось фрезы, при этом задний угол α и профиль зуба остаются неизменными; фрезы с остrokонечным зубом затачиваются по задней поверхности, при этом образуется задний угол α , который можно изменять при заточке.

3.2.1. Заточка цилиндрической фрезы с остrokонечными спиральными зубьями

Заточка (см.рис.3.1) производится кругом формы ЧК в центрах на оправке с применением упорки в следующей последовательности.

Повернуть шлифовальную головку так, чтобы торцевая поверхность круга при заточке фрез с углами $\alpha \leq 20^\circ$ была наклонена к направлению хода стола на угол $\theta = 1-3^\circ$, т. е. круг должен работать одной стороной. При больших значениях этих углов θ определяется по зависимостям

$$\operatorname{tg}\theta = \sin\alpha \times \operatorname{tg}\omega \quad \text{или} \quad \sin\theta = \sin\alpha \times \alpha_N \times \sin\omega,$$

где ω – угол наклона винтовой канавки к оси вращения фрезы; α_N – задний угол в нормальном к режущей кромке сечении.

Установить на шлифовальной головке перед рабочей стороной круга упорку П4. Установить на верхнюю плоскость головки 10 центрирующий шаблон П9 и довести, поднимая или опуская упорку, до соприкосновения с ним. Установить центрирующий шаблон П9 на

столе и, спуская или поднимая головку, вращением маховичков 3 или 20 подвести упорку до соприкосновения с шаблоном. Закрепить на столе 15 переднюю 6 и заднюю 14 бабки. Закрепить фрезу на оправке, а оправку в центрах передней и задней бабок, соединить установочный палец хомутика с поводком 9 и зажать хомутик на оправке. Подвести фрезу к упорке и повернуть ее до соприкосновения передней поверхностью одного из зубьев с упоркой. Установить шкалу поводка 9 на нулевое деление, поворачивая указатель 5, и закрепить его на стержне центра 7. Прижимая зуб фрезы к упорке, опускать шлифовальную бабку до тех пор, пока фреза со шкалой 9 не повернется на требуемый угол α . Снять установочный хомутик. Установку величины α можно произвести и без приспособления 8 и 9. В этом случае величина H опускания головки определяется по зависимости

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha, \text{ мм},$$

где D – диаметр фрезы, на которой находится точка контакта упорки с зубом фрезы (мм).

Отсчет H производится по лимбу маховичка 3 или 20 либо по штангенрейсмасу.

Поворачивая оправку, одной рукой прижимать затачиваемый зуб к упорке, а другой рукой, вращая один из маховичков 25, перемещать фрезу вместе со столом и заточить зуб. Вследствие того, что затачиваемый зуб скользит по упорке, установленной на неподвижной части станка, одновременно с продольным перемещением фрезы происходит ее поворот вокруг собственной оси.

Направление вращения шлифовального круга должно быть от затылка к режущей кромке, т. е. чтобы сила резания прижимала зуб к упорке. При такой схеме заточки возможно образование заусенцев на режущей кромке у инструментов из всех видов инструментальных сталей или сколов и зазубрин на зубьях из твердого сплава. Поэтому заточку следует вести осторожно, не завышая подачу и глубины резания, а в конце заточки произвести несколько проходов с минимальной подачей или без нее.

Перемещая стол, вывести фрезу из контакта с кругом, а упорку – за торец фрезы и поворотом фрезы установить ее для заточки следующего зуба, который, как и остальные зубья, затачивается аналогично первому.

Заточку можно вести и кругом ПП, но он дает вогнутую фаску, что хуже для работы фрезы. Наладка станка при этом остается аналогичной изложенной выше. Только H подсчитывается по зависимости

$$H = \frac{D_{\text{кр}}}{2} \sin \alpha, \text{ мм},$$

где $D_{\text{кр}}$ – диаметр круга (мм), который не должен превышать величины

$$D_{\text{кр}} \leq \frac{D_{\text{ф}} \sin \frac{180^\circ}{z}}{\sin(\alpha - \frac{180^\circ}{z})}, \text{ мм},$$

где $D_{\text{ф}}$ – диаметр фрезы.

Во всех случаях подача на глубину шлифования осуществляется поперечным перемещением стола после полного оборота фрезы при заточке.

3.2.2. Заточка торцовых фрез

Торцовые фрезы обычно имеют прямолинейные главные и вспомогательные режущие кромки и плоские передние и задние поверхности, поэтому заточка их производится торцом кругов формы ЧК или ЧЦ.

В отличие от заточки цилиндрических фрез, хвостовые или насадные торцовые фрезы крепятся не в центрах, а в гнезде универсальной головки П1, и задний угол устанавливается по шкале на шпинделе универсальной головки. Заточка периферийных зубьев не отличается от описанной в пункте 3.2.1.

Заточка торцевых зубьев. Повернуть универсальную головку на 90° , т. е. чтобы ее ось стала перпендикулярно продольной оси стола. Установить на шкале поворота головки в вертикальной плоскости нужную величину угла α . Положить на верхнюю плоскость шлифовальной головки 10 центрирующий шаблон и поворотом шпинделя универсальной головки установить по нему горизонтально затачиваемую режущую кромку и закрепить шпиндель.

Закрепить на столе станка универсальную упорку, подведя ее под затачиваемый зуб так, чтобы пружина поднимала ее к центру фрезы, и отпустить шпиндель универсальной головки. Опустить шлифовальный круг настолько, чтобы он не задевал при заточке смежный зуб. Произвести затачивание зуба, прижимая его рукой через шпиндель головки к упорке и перемещая другой рукой стол.

Остальные зубья затачиваются аналогично. Деление производится поворотом фрезы при выведенном из контакта с ней круга.

Заточка леворежущих фрез имеет следующие особенности (так как передняя поверхность затачиваемого зуба будет обращена вверх):

– планку центрирующего шаблона П9 развернуть на 180° для горизонтальной установки зуба;

– универсальную упорку закрепить не на столе, а на верхней плоскости шлифовальной головки, конец упорки должен быть обращен вниз.

Заточка промежуточных режущих кромок. Повернуть головку с фрезой в горизонтальной плоскости на угол $\theta_r = \varphi$ и закрепить. Повернуть в вертикальной плоскости головку вниз на угол $\theta_B = \alpha_N \times \cos \lambda \times \sin \varphi$ и закрепить. По центрирующему шаблону установить режущую кромку одного из зубьев на одной высоте с центром фрезы. Повернуть шпиндель вправо на угол $\theta_{ш} = \alpha \times \cos \lambda \times \sin \varphi$. Закрепить на столе универсальную упорку, подведя ее под переднюю поверхность затачиваемого зуба, и отпустить шпиндель. Опустить шлифовальную головку настолько, чтобы круг не задевал смежный зуб, и производить заточку.

Особенности заточки промежуточных зубьев для леворежущих фрез. Шпиндель повернуть не вправо, а влево. Повернуть головку в вертикальной плоскости не вниз, а вверх.

Универсальную упорку закрепить на верхней плоскости шлифовальной бабки концом книзу и упереть в переднюю поверхность затачиваемого зуба сверху. Не опустить, а поднять шлифовальную головку настолько, чтобы не задевал при заточке смежного зуба.

3.2.3. Заточка шпоночных и прорезных фрез

Сначала затачиваются зубья на периферии (настройка станка такая же, как и при заточке цилиндрических фрез (пункт 3.2.1), затем затачивают торцевые зубья для 2- и 3-сторонних фрез так же, как и для торцевой насадной фрезы.

Заточка дисковых фрез с переменным наклоном зуба. Фреза затачивается с одной установки как и цилиндрическая со спиральным зубом, но упорка должна иметь закругленную пластинку. Заточка угловых фрез производится так же, как и насадных торцевых фрез.

3.2.4. Заточка дисковых пил

Заточка дисковых пил производится чашечным кругом при закреплении пилы в шпинделе универсальной головки или на оправке в центрах передней и задней бабки.

Затачиваются они, как и цилиндрические фрезы. Упорка крепится, как и для других прямозубых инструментов на столе станка.

Заточка по передней поверхности с одновременным углублением впадин производится специально профилированными кругами тарельчатой формы. Пила крепится в центрах или на универсальной головке, или на подручнике.

3.4. Заточка разверток

Критерием затупления разверток считается износ по задним поверхностям зубьев или выход величины диаметра обрабатываемого отверстия за пределы допуска.

Цилиндрические развертки затачивают по задним поверхностям зубьев заборной части кругом формы ЧК при закреплении ее в центрах передней и задней бабки, как и цилиндрические фрезы. Стол должен быть повернут на величину угла в плане φ . Центровые отверстия перед заточкой должны быть тщательно проверены и исправлены. Тщательно должна быть проверена и параллельность линии центров направлению продольного перемещения стола.

При изготовлении и перешлифовывании разверток на новый размер заточке подвергают все образующие рабочую часть поверхности в приведенной ниже последовательности.

- шлифование на круглошлифовальном станке до нужных размеров калибрующей части и обратного конуса.

- заточка передних поверхностей зубьев.

- заточка задних поверхностей зубьев на калибрующей части.

- заточка задних поверхностей зубьев на режущей части.

При заточке зубьев калибрующей части и обратного конуса по задним поверхностям необходимо, чтобы вдоль режущей кромки оставалась от круглого шлифования ленточка шириной 0,1 – 0,2 мм для обработки сталей.

Для обработки чугунов и бронз ленточка берется шириной 0,5 – 0,6 мм, и в этом случае зубья затачиваются в два приема. Сначала затачивается зуб с получением угла α , а затем ленточка под углом α_n . Конические развертки затачиваются так же, как и режущая часть цилиндрических разверток.

3.5. Заточка резцов

Затачивать резцы на универсальных станках непроизводительно из-за малой мощности привода. При необходимости заточка производится аналогично описанной выше на станке модели ЗБ634. Резец может устанавливаться на подручнике П 13 или крепиться в трехповоротных тисках П 16 за боковые стороны корпуса.

Поворот тисков производится на следующие величины углов Θ . При заточке по задней поверхности:

по нижней шкале $\theta_H = \alpha_N \times \operatorname{tg} \alpha / \cos \lambda$;

по средней шкале $\theta_{cp} = -\lambda$;

по верхней шкале $\theta_B = \varphi$.

При заточке по передней поверхности – соответственно:

$$\theta_H = 90^\circ + \operatorname{tg} \gamma_N, \text{ где } \operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma = \cos \lambda ;$$

$$\theta_{cp} = -\lambda \text{ и } \theta_B = \varphi ;$$

где α_N и γ_N – соответственно задний и передний углы заточки.

ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК 2А125. УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА

Введение

Лабораторно-практическая работа выполняется с целью закрепления полученных теоретических знаний при изучении соответствующего раздела курса «Обработка конструкционных материалов резанием».

Цели работы: 1. Изучить устройство и кинематику вертикально-сверлильного станка 2А125.

2. Ознакомиться с осевыми режущими инструментами и приспособлениями для их крепления в шпинделе станка.

3. Освоить способы крепления заготовок на рабочем столе станка.

4. Приобрести практические навыки в настройке и выполнении работ в соответствии с индивидуальным заданием.

Оборудование рабочего места. 1. Вертикально-сверлильный станок 2A125.

2. Машинные тиски, обрабатываемая заготовка, осевой режущий инструмент, приспособления для крепления инструмента, заготовки, штангенциркуль, плакаты.

Порядок выполнения работы: 1. Ознакомиться с конструкцией станка, изучить его кинематику и управление. Ознакомиться со способами крепления инструмента и заготовки.

2. Освоить наладку станка на сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьб в заготовке из стали или чугуна (режим резания установить по указанию преподавателя).

3. В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 1) провести необходимые расчеты и наладить станок на сверление.

Содержание отчета: 1. Назначение вертикально-сверлильного станка 2A125 и его устройство.

2. Записать уравнения баланса кинематических цепей главного движения и движения подачи.

3. Привести схему включения и выключения механической подачи и описать принцип ее работы.

4. Вычертить схему сверления, выполнить расчеты по индивидуальному заданию и записать уравнения кинематических цепей главного движения и движения подачи, обеспечивающих частоту вращения n_{ϕ} и подачу S_{ϕ} .

1. Общие сведения о сверлении

Сверление является одним из широко распространенных методов получения отверстий в различных деталях современного сельскохозяйственного и автотракторного машиностроения. Сверлением получают сквозные и глухие (несквозные) отверстия в сплошном материале и обрабатывают предварительно полученные отверстия с целью увеличения их размеров, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

При сверлении на сверлильных станках сверло получает два направления движения: вращение вокруг своей оси (главное движение) и поступательное вдоль оси вращения – движение подачи. Обычная точность сверления лежит в пределах 14...11 квалитетов, а шероховатость обработанной поверхности – $R_z80...R_z20$.

В качестве инструментов применяют сверла различных конструкций. Процесс резания при сверлении протекает принципиально так же, как и при точении. Так, например, в зависимости от свойств обрабатываемого материала стружка получается либо сливной, либо надлома. Имеет место усадка стружки, при сверлении вязких металлов образуется нарост.

Однако сверло в процессе сверления находится в более тяжелых условиях, чем резец и многие другие инструменты. Так, наличие очень малых передних углов в центральной части лезвия сверла и отрицательных у перемычки повышает деформацию срезаемой стружки, увеличивает силы трения, а следовательно, и тепловыделение в зоне резания.

Увеличению тепловыделения способствует также повышение деформации от изменяющейся скорости резания по длине режущих кромок сверла от ее максимального значения у вершин до минимального на перемычке. Дополнительным источником нагрева инструмента является трение ленточек сверла об обработанную поверхность отверстия и длительный контакт стружки со сверлом при ее движении по винтовым канавкам. В связи с этим скорости резания при сверлении стальных заготовок рекомендуется принимать в пределах 18...24 м/мин.

5. Устройство вертикально-сверлильного станка 2A125

Вертикально-сверлильный станок 2A125 используется в условиях единичного и мелкосерийного производства в ремонтно-механических мастерских сельскохозяйственных предприятий, агропромтехник и пр. Он предназначен для сверления глухих и сквозных отверстий, рассверливания, зенкерования, зенкования, цекования, нарезания резьбы и т.д.

Краткая техническая характеристика станка 2A125

1. Наибольший диаметр сверления, мм	25
2. Конус Морзе отверстия шпинделя	№3
3. Наибольший ход шпинделя, мм	175
4. Вылет шпинделя, мм	250
5. Мощность электродвигателя привода, кВт	2,2
6. Габариты станка, мм:	
длина.....	980
ширина	825
высота.....	2300
7. Масса станка, кг	870

Вертикально-сверлильный станок (рис. 1) имеет чугунное основание 1 с емкостью для СОЖ, подаваемой в зону резания насосом 11. На основании установлена колонна 10 коробчатой формы с вертикальными направляющими. На верхней части колонны закреплена коробка скоростей 6 и электродвигатель 7. На вертикальных направляющих колонны установлены кронштейн 9 с коробкой подач 4 и шпиндельным узлом 3, стол 2, служащий для установки и закрепления приспособлений с обрабатываемыми заготовками.

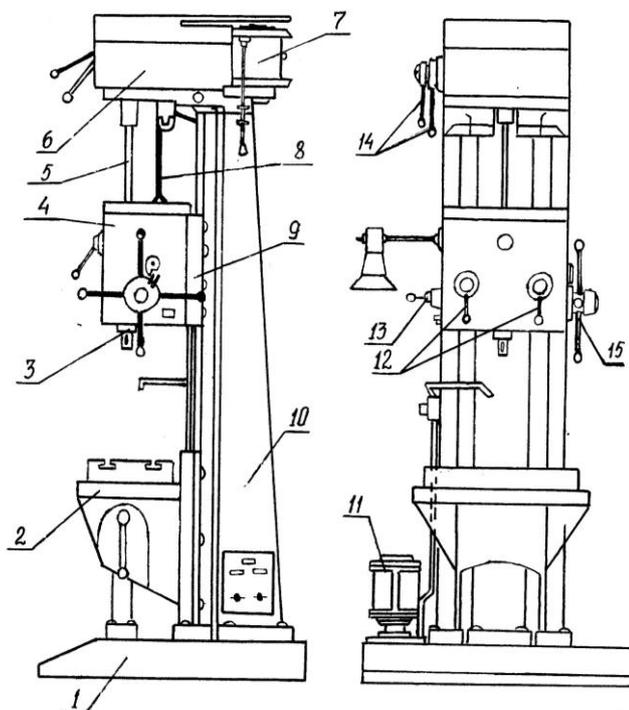


Рис. 1. Общий вид вертикально-сверлильного станка 2A125.

Стол и коробка подач в зависимости от размера обрабатываемой детали могут изменять свое положение по высоте при помощи соответственно винтового и реечного механизмов (рис. 2). Рассмотрим принцип работы ряда механизмов, обеспечивающих работу станка.

Коробка скоростей предназначена для сообщения шпинделю девяти частот вращения от 97 до 1360 мин⁻¹. Крутящий момент от электродвигателя 1 (рис. 2) через клиноременную передачу передается на вал I коробки скоростей. С вала I через находящийся на нем подвижный блок зубчатых колес 4, 5, 6 с соответственным числом зубьев $Z = 23, 37$ и 25, два неподвижных зубчатых колеса 13, 14 и подвижный блок 7, 8, 9 вала II, неподвижные зубчатые колеса 10, 11 и 12, закрепленные на полом валу III с шлицевым отверстием, крутящий момент передается на шлицевой вал IV, соединенный со шпинделем.

Шпиндельный узел представляет собой гильзу, внутри которой на подшипниках установлен шпиндель, верхней частью соединенный со шлицевым валом коробки скоростей, а в нижней – имеющий коническое гнездо для закрепления инструмента. На наружной поверх-

через подпружиненные собачки 7 в этом же направлении перемещается двойной храповой диск 6. При этом сжимается пружина 5, а торцовые зубцы двойного храпового диска входят в зацепление с зубцами диска 14, прикрепленного к червячному колесу.

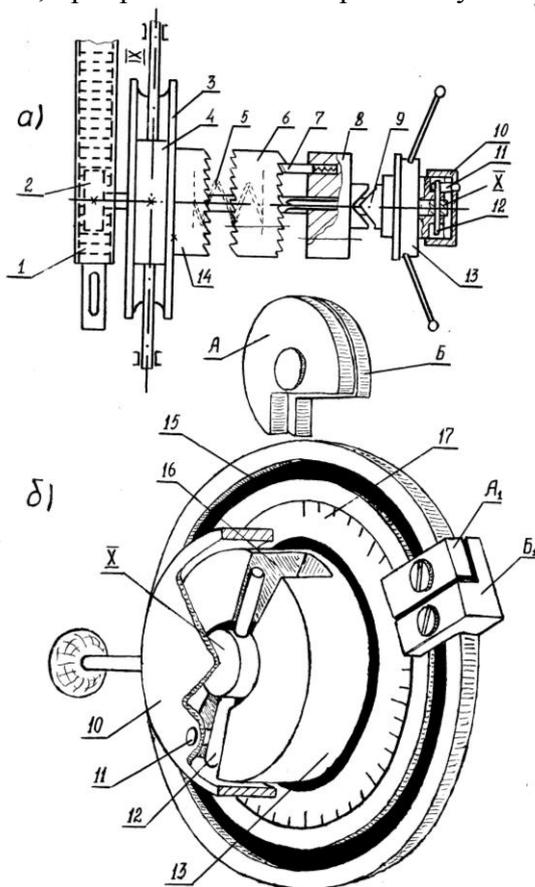


Рис. 3. Схема механизма включения и выключения механической подачи

Таким образом, вращательное движение от вала IX последовательно через червяк 4, червячное колесо 3, диск 14, двойной храповой диск 6, собачки 7, обойму 8, находящуюся на шлицах вала X, передается валу X. Далее через реечную передачу вращательное движение преобразуется в поступательное, сообщаемое гильзе и шпинделю.

Включенная механическая подача не препятствует быстрому опусканию шпинделя вручную, так как при быстром вращении штурвалом вала X одновременно будет вращаться обойма 8, при этом собачки 7 будут проскальзывать по зубьям двойного храпового диска 6. Таким образом двойной храповой диск 6 выполняет роль механизма обгона.

При повороте штурвала в обратном направлении или его торможении выступы 9 ступицы 13 штурвала освобождают обойму 8 и под действием пружины 5 двойной храповой диск 6 и обойма отходят в сторону ступицы штурвала, занимая первоначальное положение. Тогда зубцы двойного храпового диска размыкаются с зубцами диска 14 и механическая подача выключается.

Включение механической подачи возможно только при относительном повороте выступов 9 ступицы 13 штурвала относительно выступов обоймы примерно на 20° . Этот относительный поворот обеспечивается наличием зазора между штифтом 12 (рис. 3, б) и границей прореза 16, выполненной с внешнего торца ступицы. Колпачок 10 при этом должен быть выдвинут со ступицы до упора.

Для осуществления ручной подачи колпачок 10 задвигается на ступицу, при этом штифт 11, закрепленный в колпачке, заполняет зазор прорези 16 и ликвидирует люфт между ступицей штурвала и валом X. Относительный поворот ступицы штурвала и обоймы не произойдет и механическая подача включиться не сможет. В этом случае подача осуществляется вручную посредством штурвала.

На боковой плоскости коробки подач эксцентрично ступицы 13 штурвала расположен подвижный диск 15 с кольцевым Т-образным пазом, в котором крепятся упоры A_1 и B_1 . Диск 15 приводится в движение от обоймы 8 (рис. 3), имеющей по наружной поверхности зубья, которые находятся в зацеплении с зубьями, выполненными по внутренней поверхности диска 15 (зубья диска и обоймы на схеме не показаны). Упор A_1 предназначен для включения обратного вращения шпинделя в конце его хода при нарезании резьбы метчиками. Упор B_1 – для автоматического выключения подачи при заданной глубине сверления. Рядом с диском 15 расположен неподвижно закрепленный лимб 17. Нулевое деление лимба расположено против выступа дисков A и B механизмов, соответственно реверсирования вращения шпинделя и выключения его подачи (рис. 3 и 4). На лимбе имеется 175 делений, указывающих ход шпинделя в миллиметрах.

Ограничение глубины сверления производится следующим образом. Вращая штурвал против часовой стрелки, подводят сверло к поверхности детали. Затем устанавливают упоры A_1 и B_1 в пазе диска так, чтобы передняя кромка кулачка B_1 была расположена против деления лимба 17, (рис. 3 и 4), указывающего на нужную глубину сверления, а кулачок A_1 подводят вплотную к кулачку B_1 .

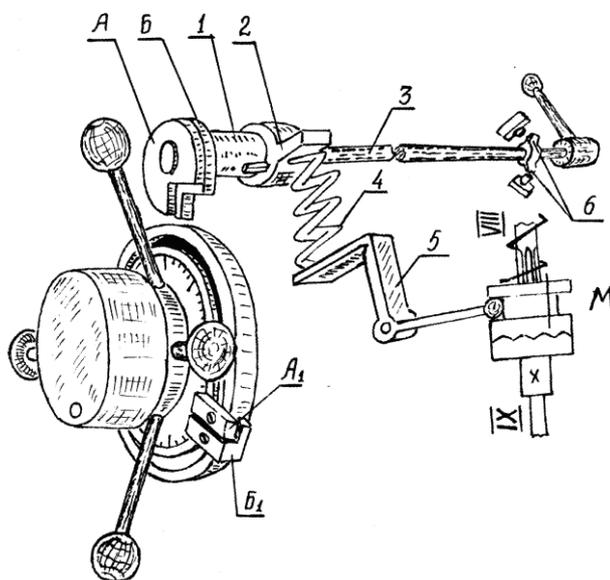


Рис. 4. Схема механизма ограничения глубины сверления и реверса шпинделя станка.

При включенной подаче диск 15 вращается и при достижении установленной глубины сверления выступ кулачка B_1 нажимает на выступ диска B , поворачивая его по часовой стрелке. Диск B (рис. 4) повернет полый вал 1, рычаг 2 по часовой стрелке и через пружину 4, рычаг 5 муфта M разъединится. Подача шпинделя выключится, но инструмент не отводится от обработанной поверхности, что улучшает ее зачистку.

При нарезании резьбы используется только упор A_1 . В конце хода метчика упор A_1 нажимает на выступ диска A и поворачивает его и ось 3 по часовой стрелке. В результате одна пара контактов переключателя 6 разомкнется, а вторая замкнется, включив левое вращение шпинделя, что необходимо для вывинчивания метчика из нарезанной резьбы.

1.1. Управление станком

Управление станком производится при помощи рукояток 12, 13, 14 и штурвала 15 (рис. 1). Рукоятками 14 устанавливают нужное число оборотов шпинделя, а рукоятками 12 – нужную подачу. Рукояткой 13 изменяют направление вращения шпинделя. Шпиндель получает вращательное движение через шлицевой вал 5 от коробки скоростей. Перемещение шпиндельного узла в осевом направлении производится механически и с помощью штурвала 15 вручную. С целью уравнивания массы шпиндельного узла он соединен цепью 8 с грузом, находящимся внутри колонны 10.

1.2. Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка включает цепи главного движения, движения подачи и ряд установочных движений. Цепь главного движения (рис. 2) связывает вращательные движения электродвигателя и шпинделя с рабочим инструментом через клиноременную передачу и коробку скоростей $n_{эд} \rightarrow n_{шп}$. В общем виде она может быть представлена уравнением

$$n_{шп} = n_{эд} i_{кл} i_{кс}, \text{ мин}^{-1} \quad (1.1)$$

где $n_{шп}$ – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; $n_{эд}$ – частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} ; $i_{кл}$ – передаточное число клиноременной передачи; $i_{кс}$ – передаточное число коробки скоростей.

Передаточное число клиноременной передачи:

$$i_{кл} = \frac{d_1}{d_2} \eta,$$

где d_1 – диаметр ведущего шкива, мм; d_2 – диаметр ведомого шкива, мм; η – коэффициент проскальзывания ремня ($\eta = 0,985$).

Подставляя значения составляющих уравнения (1.1), получим уравнение баланса цепи главного движения:

$$n_{шп} = 1440 \cdot \frac{114}{152} \cdot 0,985 \cdot \begin{array}{c|c} 25 & 18 \\ \hline 54 & 68 \\ 37 & 54 \\ \hline 58 & 27 \\ 23 & 36 \\ \hline 72 & 45 \end{array} = \begin{array}{l} n_1 = 97 \text{ мин}^{-1} \\ n_2 = 140 \text{ мин}^{-1} \\ n_3 = 192 \text{ мин}^{-1} \\ n_4 = 272 \text{ мин}^{-1} \\ n_5 = 392 \text{ мин}^{-1} \\ n_6 = 545 \text{ мин}^{-1} \\ n_7 = 680 \text{ мин}^{-1} \\ n_8 = 960 \text{ мин}^{-1} \\ n_9 = 1360 \text{ мин}^{-1} \end{array} \quad (1.2)$$

Как видно, шпиндель станка получает девять различных частот вращения, указанные в соответствии с паспортом станка. Анализ изменения частот можно проводить с помощью графика частот вращения шпинделя (рис. 5) следующим образом. Выбирается линия, соответствующая принятой фактической частоте вращения шпинделя $n_{ф}$. Затем по этой линии определяются частота вращения вала *II* и передаточное число с вала *I* на вал *II*, а соответственно и пара зубчатых колес ее обеспечивающее [рис. 5 и уравнение баланса цепи (1.2)]. Таким же образом определяется пара зубчатых колес обеспечивающих передачу искомой частоты вращения с вала *II* на вал *III*. Причем при определении передаточного числа следует учитывать следующее:

- 1) на графике учитывается только абсолютная величина передаточного числа;
- 2) при передаточном числе i больше единицы участок линии, соответствующей выбранной частоте вращения, возрастает, при $i < 1$ – убывает и при $i = 1$ – проходит горизонтально;
- 3) при $i > 1$ большему передаточному числу соответствует линия с более крутой характеристикой и при $i < 1$ – с более пологой характеристикой.

Например, для определения пар зубчатых колес, обеспечивающих фактическую частоту вращения шпинделя $n_{ф} = 985 \text{ мин}^{-1}$ (на рис.5 линия показана несколько утолщенной), видим, что между валом *I* и валом *II* она расположена в середине, что соответствует передаточному числу $i = 0,46$ или зубчатому зацеплению (паре) $\frac{25}{54}$, а с вала *II* на вал *III* она самая

верхняя, что соответствует передаточному числу $i = 2$ или зубчатой паре $i = \frac{54}{27}$.

Тогда уравнение цепи, обеспечивающей $n = 985 \text{ мин}^{-1}$, запишется следующим образом:

$$n_{шп} = 1440 \cdot \frac{114}{152} \cdot 0,985 \cdot \frac{25}{54} \cdot \frac{54}{27} = 985 \text{ мин}^{-1}$$

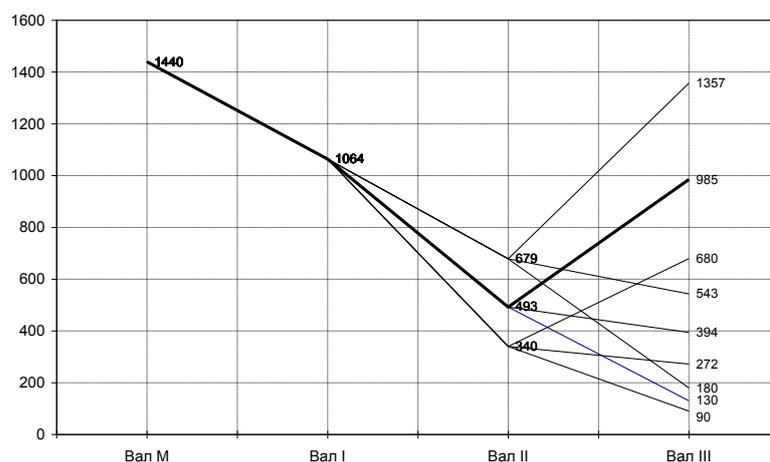


Рис. 5. График частот вращения шпинделя.

Кинематическая цепь подач связывает вращательное движение шпинделя и реечного колеса 27 (см.рис.2) с $Z = 14$. В общем виде она может быть представлена уравнением

$$1_{\text{об.шп}} \times i_1 \times i_2 \times i_3 \times i_4 \times i_5 = \frac{S}{\pi m z}, \quad (1.3)$$

где S – подача, мм/об; $1_{\text{об.шп}}$ – один оборот вала IV (шпинделя); i_1, i_2, i_3, i_4 , – передаточные числа зубчатых передач соответственно на валы V, VI, VII и VIII; i_5 – передаточное число червячной передачи; m – модуль реечного колеса, мм; z – число зубьев реечного колеса.

Подставив значения составляющих в выражение (1.3) и решив его относительно S , получим уравнение баланса цепи подач:

$$S = 1_{\text{об.шп}} \cdot \frac{27}{50} \cdot \frac{27}{50} \cdot \frac{25}{56} \cdot \frac{35}{46} \cdot \frac{1}{47} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 14 = \begin{cases} S_1 = 0.1 \text{ мм/об} \\ S_2 = 0.13 \text{ мм/об} \\ S_3 = 0.17 \text{ мм/об} \\ S_4 = 0.22 \text{ мм/об} \\ S_5 = 0.28 \text{ мм/об} \\ S_6 = 0.36 \text{ мм/об} \\ S_7 = 0.48 \text{ мм/об} \\ S_8 = 0.62 \text{ мм/об} \\ S_9 = 0.81 \text{ мм/об} \end{cases} \quad (1.4)$$

К установочным движениям относятся подъем и опускание по вертикальным направляющим колонны 10, стола 2, кронштейна 9 с коробкой подач и шпиндельным узлом.

2. Индивидуальное задание к настройке станка

Рассчитать частоту вращения шпинделя станка исходя из заданной скорости резания V (табл. 1)

$$n_p = \frac{1000 V}{\pi d} \text{ мин}^{-1}, \quad (2.1)$$

где d – диаметр сверла, мм.

Частота вращения шпинделя станка n_{ϕ} выбирается равной n_p или ближайшей большей или меньшей, обеспечиваемой коробкой скоростей станка. Большее значение n_{ϕ} принимается в том случае, если фактическая средняя скорость резания будет превышать заданную не более чем на 5 % ($B \leq 5\%$). Относительное отклонение B рассчитывается по зависимости

$$B = \frac{V - V_{\phi}}{V} 100\%. \quad (2.2)$$

Определить основное технологическое время (T_o) при сверлении отверстия глубиной l с подачей S_{ϕ} и частотой n_{ϕ} вращения шпинделя (рис. 6).

$$T_o = \frac{L}{n_\phi S_\phi}, \quad (3.3)$$

где $L = l_1 + l + l_2$ – расчетная длина пути сверла в направлении подачи (рис. 6), мм; $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$, мм – величина врезания сверла, зависящая от глубины резания t , мм и главного угла в плане φ ; l_2 – перебег сверла, равный 2...5 мм.

Таблица 1. Варианты индивидуального задания по расчету основного времени при сверлении

Номер варианта	Диаметр отверстия d , мм	Глубина сверления l , мм	Скорость резания V , м/мин	Угол 2φ , град
1	17	35	28	116
2	20	30	26	116
3	25	50	20	116
4	18	45	27	116
5	23	42	25	116
6	17	50	30	130
7	12	40	28	130
8	19	45	25	130
9	15	30	29	130
10	21	35	24	130
11	24	35	20	104
12	12	43	26	104
13	23	50	28	104
14	18	25	24	104
15	16	30	22	104

Примечание. Подача определяется ориентировочно из соотношения $S = (0,01...0,03)d$ и корректируется по паспорту станка, приняв S_ϕ . Как правило, меньшее значение S_ϕ принимается при сверлении сталей, а большее – чугунов.

Вычертить схему сверления, показав численные значения ее составляющих, полученных в соответствии с расчетами по индивидуальному заданию.

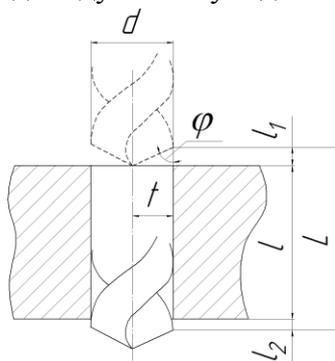


Рис. 6. Схема сверления к определению основного технологического времени (T_o).

Вопросы для самопроверки

1. Расшифруйте маркировку станка 2A125.
2. Из каких основных узлов состоит вертикально-сверлильный станок? Их назначение.
3. Принадлежности и инструмент к сверлильному станку и их назначение.
4. Объясните работу механизма с вытяжной шпонкой.
5. Как подсчитать максимальную и минимальную частоту вращения шпинделя станка?
6. Как подсчитать максимальную и минимальную подачу?
7. Принцип работы механизма подачи при ручной и механической подаче.
8. Как производится ограничение глубины сверления при сверлении глухих отверстий?
9. Как производится реверсирование шпинделя при нарезании резьбы?
10. Записать зависимость по определению основного технологического времени и разъяснить его сущность.

ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК 7307ГТ. УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА

Лабораторная работа выполняется с целью закрепления полученных теоретических знаний при изучении соответствующего раздела курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Цель работы: изучить конструкцию и кинематику поперечно-строгального станка 7307ГТ; освоить управление станком и наладить его на выполнение работы.

Оборудование рабочего места: 1. Поперечно-строгальный станок 7307ГТ, машинные тиски, проходной строгальный резец, заготовки, штангенциркуль.

1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией станка и изучить его управление.

2. Изучить кинематическую схему станка.

3. В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 1) по длине заготовки l , глубине резания t , подаче S , ширине обрабатываемой поверхности b и средней скорости резания v_{cp} произвести соответствующие расчеты и наладить станок на строгание плоскости.

Расчетное число двойных ходов ползуна в минуту n_{pac} определяется по формуле

$$n_{pac} = \frac{1000v_{cp}}{2L}, \quad (1)$$

где $L=l_1 + l + l_2$ – длина хода ползуна (рис. 1), мм; l_1 – длина входа резца, мм; l_2 – длина выхода резца, мм.

Величины входа и выхода резца принимаются в зависимости от длины обрабатываемой заготовки (табл. 2).

Число двойных ходов n_{ϕ} выбирается равным n_{pac} или ближайшим большим или меньшим, обеспечиваемым коробкой скоростей станка. Большее значение n_{ϕ} принимается в том случае, если фактическая средняя скорость резания v_{ϕ} будет превышать v_{cp} не более чем на 5 % ($\Delta \leq 5\%$).

Относительное отклонение Δ рассчитывается по зависимости

$$\Delta = \frac{v_{cp} - v_{\phi}}{v_{cp}}. \quad (2)$$

Используя уравнение (8), определить число зубьев a храпового колеса, захватываемых собачкой, при обеспечении заданной подачи S (мм/дв. ход).

Таблица 1. Варианты индивидуального задания по настройке поперечно-строгального станка

Номер варианта	Средняя скорость резания v_{cp} , м/мин	Подача S , мм/дв. ход	Глубина резания t , мм	Длина заготовки l , мм	Ширина обрабатываемой поверхности b , мм
1	12	2,8	2	50	100
2	20	1,2	4	70	125
3	24	3,0	3	100	200
4	29	3,8	1	120	150
5	12	0,4	5	150	175
6	10	0,8	6	175	190
7	35	2,0	1	200	250
8	25	1,0	2	250	200
9	15	3,6	4	300	275
10	12	1,8	4	350	80
11	10	1,6	5	400	50
12	11	1,4	5	450	100
13	12	0,6	2	500	310
14	19	0,4	2	550	200
15	21	0,2	2	600	90

Таблица 2. Величина перебегов резца

Длина обрабатываемой заготовки l , мм	Длина входа резца l_1 , мм	Длина выхода резца l_2 , мм
До 195	35	10
200...295	45	15
300...395	50	20
400...600	55	20

4. Определить основное технологическое время (T_0 , мин) при строгании плоскости за один проход по формуле

$$T_0 = \frac{V}{n \cdot S}, \quad (3)$$

где $V=b_1+b+b_2$ – общая ширина обрабатываемой поверхности в направлении подачи (рис. 1), мм; b – ширина обрабатываемой поверхности, мм; $b_1=t \times \text{ctg} \varphi$ – величина бокового врезания, зависящая от глубин резания t и главного угла в плане φ ($\varphi=45^\circ$), мм; b_2 – перебег резца, равный 2...5 мм.

2. Содержание отчета

1. Дать краткое описание назначения, устройства и видов работ, выполняемых на поперечно-строгальном станке.
2. Привести краткую техническую характеристику станка.
3. Выполнить расчеты к индивидуальному заданию и записать уравнения кинематических цепей главного движения и движения поперечной подачи, обеспечивающие n и S .
4. Привести схемы строгания (рис.1) и расчет основного технологического времени.

3. Общие сведения

Строганием называется вид лезвийной обработки резанием, выполняемый резцами с возвратно-поступательным главным движением резания и прерывистым движением подачи, сообщаемым детали или инструменту в зависимости от положения обрабатываемой заготовки. Движение резца в направлении, при котором срезается слой металла, называется рабочим ходом, движение резца в обратном направлении, при котором резания не происходит, – холостым ходом.

Цикл, состоящий из рабочего и холостого ходов, называют двойным ходом.

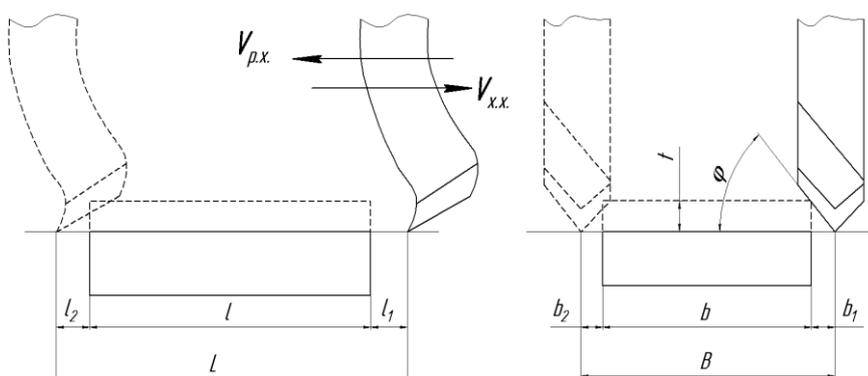


Рис.1. Схемы строгания: L – длина хода ползуна, мм; l_1 – длина входа резца, мм; l – длина заготовки, мм; l_2 – длина выхода резца, мм; b_2 – перебег резца, мм; t – глубина резания, мм; φ – главный угол в плане, град; B – общая ширина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм; b_1 – величина бокового врезания, мм; b – ширина обрабатываемой поверхности, мм; b_2 – перебег резца по ширине

При рабочем ходе резец, закрепленный в суппорте, срезает слой металла, при обратном (холостом) ходе резец приподнимается, а в момент начала нового рабочего хода (в конце холостого хода) опускается, и в этот же момент осуществляется сравнительно небольшое перемещение стола в поперечном направлении на величину нового срезаемого слоя металла.

Это перемещение стола совместно с заготовкой называется движением подачи. При строгании вертикальных поверхностей движение подачи осуществляется перемещением резца.

К элементам режима резания при строгании относят: t – глубину строгания, мм; S – подачу мм/дв.ход; v – скорость резания (м/мин), выражаемую через частоту двойных ходов ползуна станка в минуту (n – дв.ход/мин) (см. формулы (1) и (3)).

Прерывистый процесс резания приводит к значительным динамическим нагрузкам режущего инструмента, так как резец, врезаясь в материал заготовки при каждом рабочем ходе, испытывает удар. Поэтому режущий инструмент применяется более массивным и прочным по сравнению с токарными резцами.

Строгальные станки входят в седьмую группу станков. К ним относятся: поперечно-строгальные, продольно-строгальные, долбежные и другие строгальные станки. Они предназначены для обработки главным образом плоских поверхностей, а также пазов и канавок. Из-за низкой производительности их применяют в единичном и мелкосерийном производстве. Особенности этих станков являются простота конструкции, дешевый инструмент, возможность достижения высокой точности обработки.

При черновом строгании получают поверхность с параметром шероховатости $Ra=50...6,3$ мкм и пределом точности 11...14 квалитетов; при чистовом строгании – $Ra=6,3...1$ мкм и пределом точности 10...11 квалитетов; при тонком строгании – $Ra=1,6...0,32$ мкм с пределом точности 8...10 квалитетов.

Поперечно-строгальные станки применяют для обработки небольших заготовок.

4. Устройство поперечно-строгального станка 7307ГТ

Поперечно-строгальный станок 7307ГТ (рис. 2, 3, 4) применяется для обработки резцом горизонтальных, вертикальных и наклонных, плоских и фасонных поверхностей с наибольшей длиной обработки 710 мм, а также для прорезания пазов, канавок и пр.

Техническая характеристика

Ход ползуна, мм	710
Расстояние от опорной поверхности резца до станины (вылет), мм	800
Перестановка ползуна, мм	410
Размеры верхней рабочей поверхности стола, мм	710×450
Ход стола в горизонтальном направлении, мм	710
Ход стола в вертикальном направлении, мм	380
Угол поворота стола	$\pm 90^0$
Угол поворота суппорта до входа в станину	$\pm 60^0$
Угол поворота доски резцедержателя	$\pm 15^0$
Сечение хвостовика резца, мм	40×25
Количество скоростей ползуна	8
Диапазон чисел двойных ходов ползуна, мин ⁻¹	10,6...118
Количество горизонтальных подач стола	25
Диапазон горизонтальных подач стола на один двойной ход ползуна, мм	0,2...5
Скорость ускоренного перемещения стола в горизонтальном направлении, м/мин	4
Скорость ускоренного перемещения стола в вертикальном направлении, м/мин	0,8
Мощность главного привода, кВт	5,5
Габаритные размеры, мм	2790×1235×1665
Масса, кг	2770

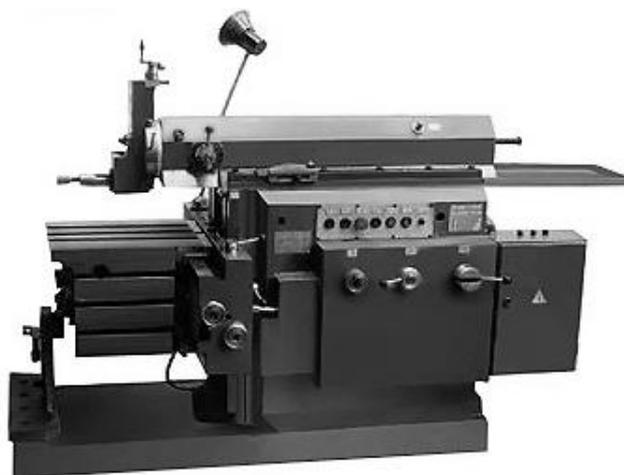


Рис. 2. Поперечно-строгальный станок 7307ГТ

Основные узлы станка смонтированы на станине 2 (рис. 3), установленной на фундаментной плите 1.

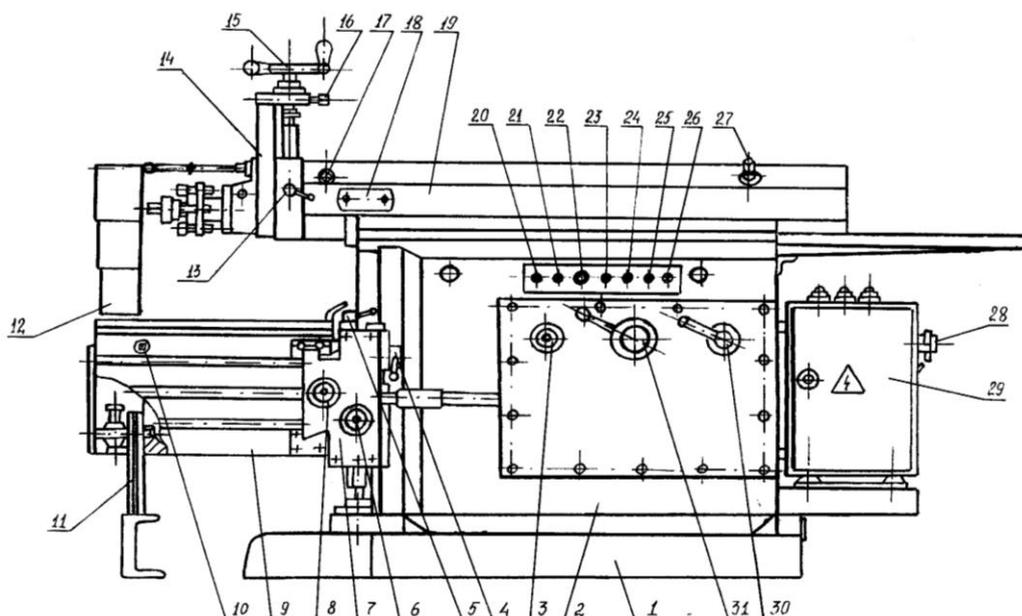


Рис. 3. Поперечно-строгальный станок модели 7307ГТ (вид сбоку):

1 – фундаментная плита; 2 – станина; 3 – хвостовик вала установки длины хода ползуна; 4 – рукоятка включения вертикального механического перемещения стола; 5 – рукоятка включения горизонтального механического перемещения стола; 6 – хвостовик вала ручного вертикального перемещения стола; 7 – поперечина; 8 – хвостовик вала ручного горизонтального перемещения стола; 9 – стол поворотный; 10 – хвостовик вала привода поворотного стола; 11 – подставка регулируемая; 12 – стружкосборник; 13 – рукоятка зажима салазок суппорта; 14 – суппорт; 15 – рукоятка перемещения салазок суппорта; 16 – фиксатор винта подачи суппорта; 17 – хвостовик зажима поворота суппорта на задний угол; 18 – окно установки механической подачи суппорта; 19 – ползун; 20 – кнопка установочного перемещения ползуна; 21 – кнопка ускоренного перемещения стола; 22 – кнопка отключения станка; 23 – кнопка пуска ползуна; 24 – кнопка остановки ползуна; 25 – кнопка включения двигателя станка; 26 – сигнальная лампа включения станка; 27 – хвостовик вала переустановки вылета ползуна; 28 – выключатель вводный; 29 – шкаф электрический; 30 – рукоятка установки числа двойных ходов ползуна; 31 – рукоятка установки величины механической подачи стола

Станина представляет собой литой корпус коробчатой формы, имеющей в верхней части горизонтальные, а на передней стенке вертикальные направляющие. По горизонтальным направляющим совершает главное возвратно-поступательное движение ползун 19. По вертикальным направляющим станины перемещается поперечина (траверса) 7, имеющая горизонтальные направляющие, где закреплен стол 9, который может перемещаться вдоль поперечины, осуществляя тем самым горизонтальную подачу.

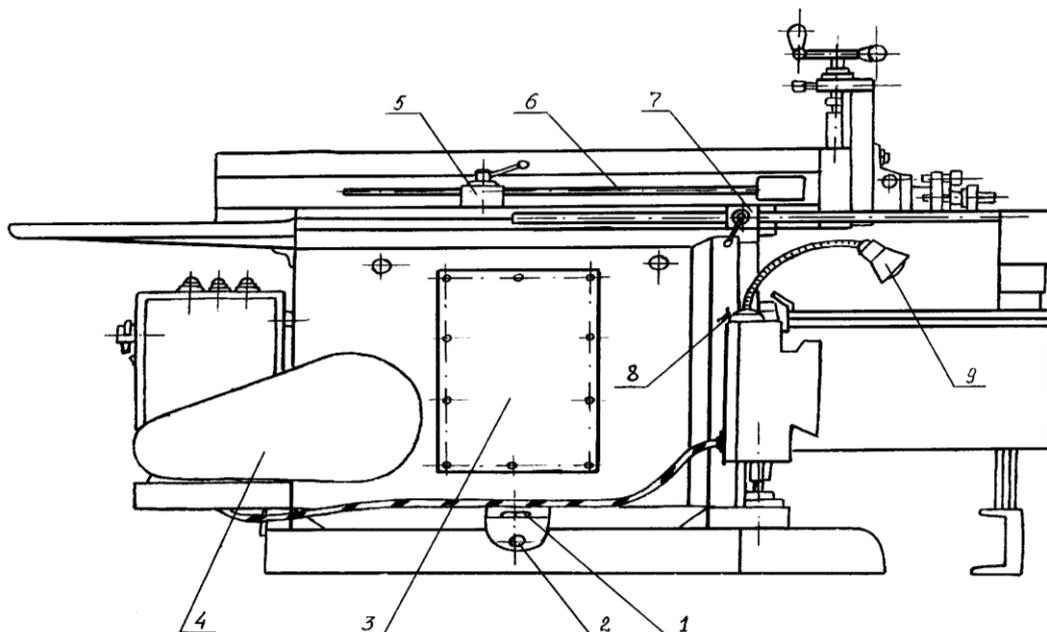


Рис. 4. Поперечно-строгальный станок модели 7307ГТ (вид с обратной стороны):

1 – пробка со щупом для залива и контроля уровня смазки; 2 – пробка для слива смазки; 3 – люк кулисного механизма; 4 – кожух привода коробки скоростей станка; 5 – устройство для включения механизма автоматического откидывания резца; 6 – штанга механизма автоматического откидывания резца; 7 – рукоятка крепления экрана стружкосборника; 8 – кнопка включения освещения; 9 – фонарь осветительный

В станине размещены коробка скоростей станка и кулисный механизм, обеспечивающий возвратно-поступательное движение ползуна. В торце ползуна 19 закреплен вертикальный суппорт 14, который можно устанавливать под углом при строгании наклонных поверхностей. На суппорте смонтирован откидной резцедержатель, в котором закрепляется строгальный резец. Рассмотрим принцип работы ряда механизмов, обеспечивающих работу станка.

Кулисный механизм (рис. 5) преобразовывает вращательное движение кулисного зубчатого колеса 1 ($z = 102$) в возвратно-поступательное прямолинейное движение ползуна, а также позволяет устанавливать длину хода ползуна в зависимости от длины заготовки.

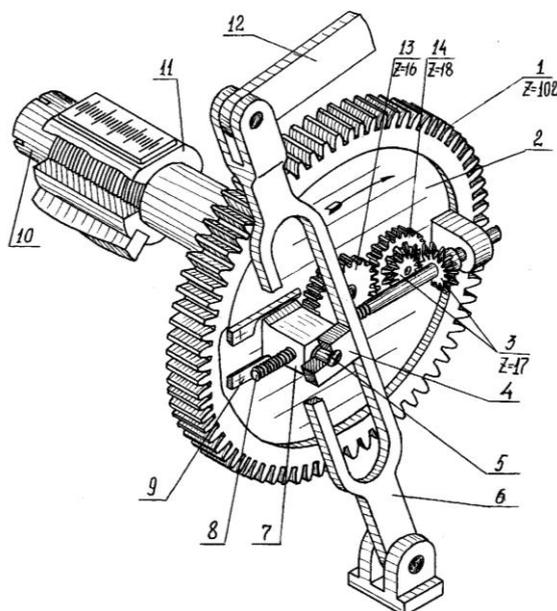


Рис. 5. Кулисный механизм

1 – кулисное колесо ($z=102$); 2 – кулисный барабан; 3 – коническое зацепление; 4 – камень; 5 – палец; 6 – кулиса; 7 – гайка; 8 – винт; 9 – призматические направляющие; 10 – торец винта; 11 – втулка; 12 – серьга; 13, 14 – цилиндрические колеса

Кулисный механизм смонтирован внутри станины и получает движение от коробки скоростей через зацепление $z = 22$ с кулисным колесом $z = 102$ (рис. 6). Кулисное колесо закреплено на корпусе кулисного барабана и передает ему движение с восемью ступенями частоты вращения.

На торце корпуса кулисного барабана 2 (см. рис. 5) в призматических направляющих 9 установлена гайка 7 с выполненным вместе с ней пальцем 5, на котором насажен камень 4, входящий в направляющие прорезы кулисы 6. При вращении барабана палец увлекает за собой камень кулисы, который перемещается в ее направляющих и качает кулису на нижней оси. Верхний конец кулисы через серьгу 12 сообщает ползуну возвратно-поступательное движение. Изменение длины хода ползуна достигается смещением пальца с гайкой 7 по винту 8 ближе или дальше от центра кулисного колеса, что соответственно уменьшает или увеличивает ход L ползуна. Вращение винта обеспечивается парами цилиндрических 13 и 14 ($z = 16, z = 18$) и конических 3 ($z = 17$ и $z = 17$) колес, приводимых во вращение рукояткой, надеваемой на выступающий торец винта 10. Длина хода ползуна отмечается втулкой 11 на которую нанесены деления с цифровыми обозначениями.

Обработка детали в требуемом месте обеспечивается установкой вылета ползуна, осуществляемого вращением съемной рукоятки валика 27 (см. рис. 3). При этом вращение передается через коническое колесо 55 (см. рис. 6) на колесо 56, выполненное вместе с гайкой, перемещающей ползун вдоль винта 54.

В торце ползуна установлен суппорт 14 (см. рис. 3), в резцедержателе 3 которого закрепляется резец 2 (рис. 7). Суппорт состоит из поворотного круга 4, салазок 5, поворотной плиты 6 и откидной доски 8. Салазки могут совершать ручное, а при наличии механизма автоматической подачи – автоматическое движение подачи. В зависимости от положения поворотного круга суппорта это движение может быть вертикальным или наклонным. Угол наклона обрабатываемой поверхности детали α достигается соответствующим углом поворота α суппорта, отсчитываемого по лимбу поворотного круга. Поворотная плита, закрепленная на салазках суппорта, регулирует положение резца относительно обрабатываемой поверхности. Она может поворачиваться относительно оси на величину $\pm 15^\circ$. На поворотной плите располагается откидная доска с резцедержателем, которая устраняет трение режущего инструмента об обработанную поверхность при обратном ходе ползуна.

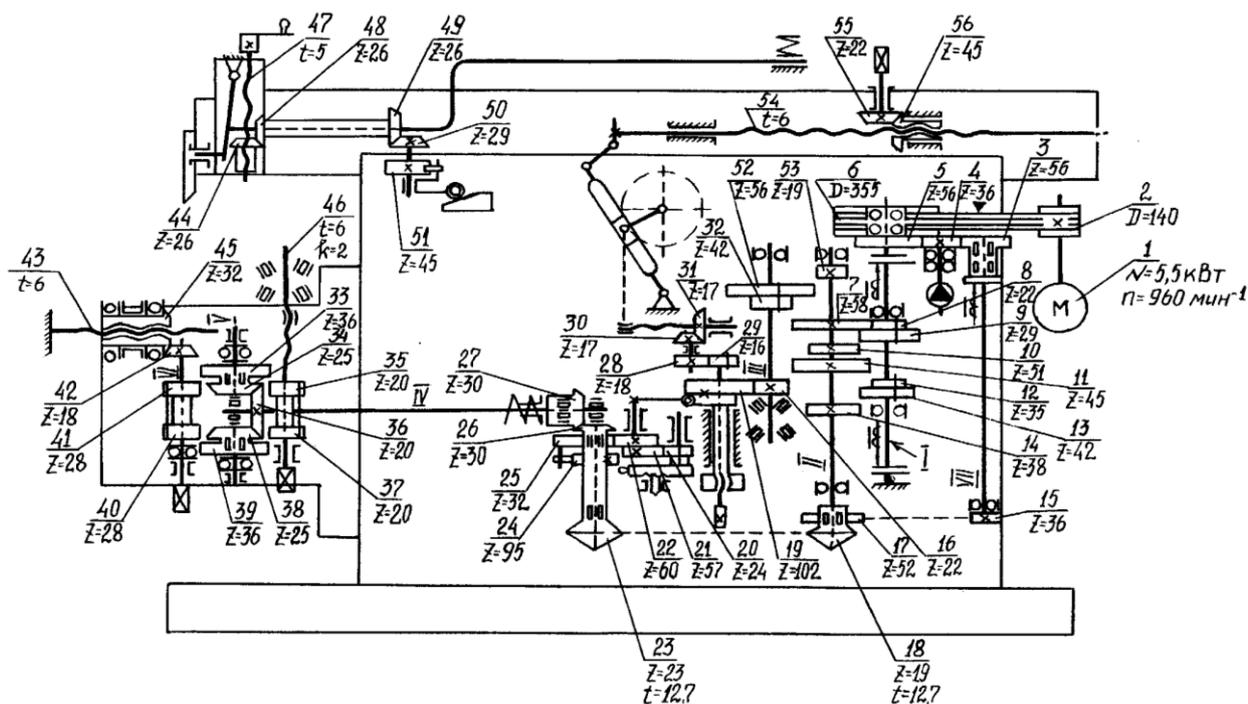


Рис. 6. Кинематическая схема станка 7306ГТ

В нижней части поворотной плиты укреплена плоская пружина, препятствующая чрезмерному отбрасыванию откидной доски при высоких частотах двойных ходов, а также поддерживающая ее при выходе резца из соприкосновения с обрабатываемой поверхностью во время работы станка.

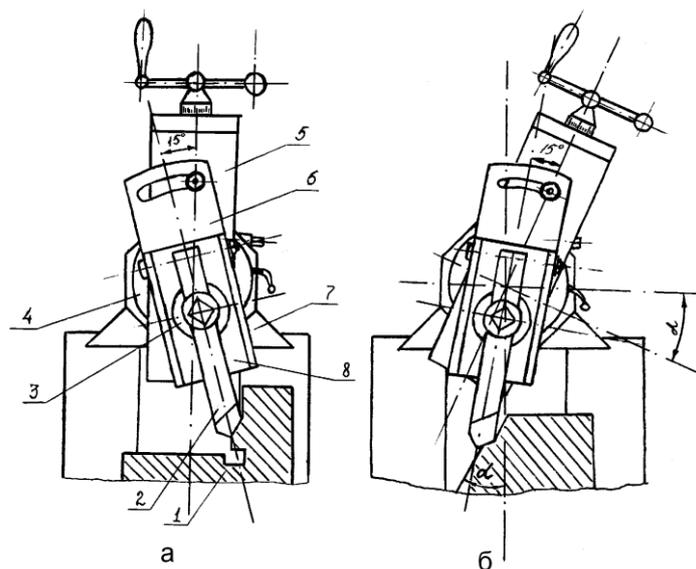


Рис. 7. Стругание вертикальной (а) и наклонной (б) поверхностей:
 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – резец; 3 – резцедержатель; 4 – поворотный круг;
 5 – салазки; 6 – поворотная плита; 7 – ползун; 8 – откидная доска

При чистовом и тонком строгании используется механизм автоматического откидывания резца (см. рис. 4), представляющий собой систему штанг и толкателей, обеспечивающих откидывание резца в начале холостого хода ползуна, за счет усилия торможения штанги тормозным узлом 5, равным или несколько превышающим усилие, необходимое для принудительного откидывания резца.

Коробка скоростей предназначена для сообщения куливному колесу 19 ($z=102$) восьми частот вращения. Она имеет (см. рис. 6) три вала, установленных на подшипниках качения непосредственно в корпусе станины. Передача крутящего момента осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу, электромагнитную муфту, вал I, два подвижных блока 8, 9 и 12, 13, пять с глухим закреплением зубчатых колес 14, 11, 10, 7, 53 со вторым валом, подвижный блок 32, 52 вала III, зубчатое колесо 16, глухо закрепленное на валу III, на кулисное колесо 19.

Механизм подачи осуществляет горизонтальную и вертикальную подачи стола и его ускоренное перемещение в этих же направлениях. Движение механизму подачи передается от эксцентрика 18, насаженного на кулисный барабан 17 и вращающегося вместе с ним (рис. 8). В конце холостого хода ползуна эксцентрик своей периферией соприкасается с роликом 19, установленном на рычаге 16. Рычаг 16 через валик 15 передает движение зубчатому сектору 5, который поворачивает свободно сидящий на ступице 9 конического зубчатого колеса 7 зубчатый сектор 10 с поводком 11. Поводок имеет ось 12, на которой установлена собачка 13, упирающаяся в зубья храпового колеса 14. Движение от храпового колеса передается через коническое зацепление 26 и 27 (см. рис. 6), предохранительную муфту, вал IV, кинематическую цепь стола на винт 46 или гайку с коническим зубчатым колесом 45, перемещающих стол, соответственно, в горизонтальном или вертикальном направлениях. Обратный отвод зубчатого сектора 10 (рис. 8) производится пружиной 6, при этом собачка 13 проскальзывает по скосам зубьев храпового колеса и движение подачи не производится.

Величина подачи устанавливается поворотом сектора 2 рукояткой 1 (рис. 8). При этом через систему зубчатых секторов 3 и 20 штифт 4 удаляется или приближается ролик 19 к эксцентрику кулисного механизма. В результате изменяется угол поворота зубчатых секторов 5 и 10, а соответственно, и поводка 11, при этом собачка 13 захватывает большее или

тельное движение электродвигателя и кривошипного колеса:

$$n_{\text{эд}} \rightarrow n_{\text{кр.кол.}} \quad (4)$$

В этом случае уравнение баланса главного движения будет иметь следующий вид:

$$n_{\text{эд}} \times i_{\text{кл}} \times i_{\text{кс}} = n_{\text{кул.кол.}} = n, \text{ дв.ход./мин}, \quad (5)$$

где $n_{\text{эд}}$ – частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} ; $i_{\text{кл}}$ – передаточное число клиноременной передачи; $i_{\text{кс}}$ – передаточное число коробки скоростей; $n_{\text{кул.кол.}}$ – частота вращения кулисного колеса, мин^{-1} ; n – число двойных ходов ползуна в минуту.

Передаточное число клиноременной передачи

$$i_{\text{кл}} = \frac{d_2}{d_6} \eta, \quad (6)$$

где d_2 – диаметр ведущего шкива, мм; d_6 – диаметр ведомого шкива, мм; η – коэффициент проскальзывания ремня ($\eta=0,98$).

Подставляя значения составляющих выражений (5) и (6), получим общее уравнение цепи главного движения:

Валы	Ременная перед.	I	II	III	Кулис. бараб.	
		$\frac{22}{58}$			10,5	
		$\frac{29}{51}$	$\frac{19}{56}$		15	
		$\frac{35}{45}$		$\frac{22}{102}$	21,2	
		$\frac{42}{38}$	$\frac{58}{42}$		30	
					42,5	
					60	
					85	
					118	
Число скоростей	1	$\times 1$	$\times 4$	$\times 2$	$\times 1$	= 8

Цепь подач связывает конечные движения кривошипного колеса 19 и винта горизонтального 46 или вертикального 43 перемещения стола:

$$1 \rightarrow \frac{S}{kP_B}, \quad (7)$$

где 1 – один оборот кривошипного колеса; S – подача, мм/об; P_B – шаг винта, мм; k – число заходов винта.

Уравнение баланса горизонтальной подачи будет иметь следующий вид:

$$1 \times \frac{a}{z_{xp}} \times \frac{30}{30} \times \frac{20}{25} \times \frac{36}{20} = \frac{S}{kP_B}, \quad (8)$$

где a – число зубьев храпового колеса, захватываемых собачкой; z_{xp} – число зубьев храпового колеса ($z_{xp}=95$); S – подача, мм/дв.ход; P_B – шаг винта горизонтальной подачи стола ($P_B = 6$ мм), мм; k – число заходов винта ($k = 2$).

Уравнение баланса при вертикальной подаче строится аналогично, с учетом характеристик блока 40, 41, конического зацепления 42, 45 и винта 43. Решая уравнение (8) относительно a , получим 25 горизонтальных подач в пределах 0,2...5 мм/дв.ход.

Цепь ускоренного перемещения стола обеспечивает передачу движения от электродвигателя к столу:

$$n_{\text{эд}} \rightarrow \frac{1000v_{\text{ст}}}{kP_B}, \quad (9)$$

где $v_{\text{ст}}$ – скорость перемещения стола в горизонтальном направлении, м/мин.

Тогда уравнение баланса для горизонтального ускоренного перемещения можно записать:

$$960 \times \frac{140}{355} \times 0,98 \times \frac{56}{36} \times \frac{36}{56} \times \frac{36}{52} \times \frac{19}{23} \times \frac{30}{30} \times \frac{20}{25} \times \frac{36}{20} = \frac{1000v_{\text{ст}}}{kP_B}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) определяется скорость перемещения стола $v_{\text{ст}}$ в горизонтальном направлении, которая равняется 3,7 м/мин.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные узлы строгального станка.
2. Что представляет собой рабочий и холостой ход при строгании?
3. За счет чего осуществляется подача и в каких единицах она измеряется?
4. Элементы режима резания при строгании.
5. Какие требования предъявляются к строгальным резцам и почему?
6. К какой группе станков относятся строгальные станки?
7. Назначение и принцип действия кулисного механизма.
8. Назначение и принцип действия механизма подачи.
9. Назначение и устройство суппорта.
10. Как осуществляется ускоренное перемещение стола?
11. Покажите на кинематической схеме станка цепь главного движения.
12. Запишите уравнения цепей, обеспечивающих максимальную и минимальную частоты перемещения ползуна.
13. Покажите цепь ускоренного перемещения стола.
14. Запишите формулу по определению основного технологического времени (T_0) и расшифруйте ее составляющие.

ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ СТАНОК 1В62Г. УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА

Цель работы: Изучить устройство и кинематику токарно-винторезного станка 1В62Г. Освоить методику анализа и настройки кинематических цепей универсального токарно-винторезного станка. Приобрести практические навыки настройки в соответствии с индивидуальным заданием.

Оборудование рабочего места: Токарно-винторезный станок 1В62Г с комплектом зубчатых колес, инструментов и принадлежностей. Резцы, стальная заготовка $d = 40 \dots 60$ мм, $l = 120 \dots 180$ мм, резьбовой шаблон метрический, штангенциркуль.

1. Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и кинематическое взаимодействие основных механизмов станка 1В62Г; принадлежности к токарному станку, способы точения конических поверхностей, эксцентриков, нарезания резьб.
2. Ознакомиться с методикой расчета и настройки кинематических цепей станка на необходимую частоту вращения шпинделя при заданных скорости резания V и диаметре обрабатываемой поверхности заготовки; на заданную подачу $S_{пр}$; на нарезание различных типов резьб (метрической, дюймовой, модульной и питчевой), в том числе многозаходных.
3. Составить уравнение кинематической цепи станка в соответствии с индивидуальным заданием и по результатам провести настройку станка.
4. Совместно с зав. лабораторией провести пробную нарезку соответствующей резьбы и измерить ее параметры.

2. Содержание отчета

В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 1) выполнить необходимые расчеты, записать уравнения настраиваемых кинематических цепей и порядок настройки станка по результатам расчетов.

3. Общие сведения

Токарно-винторезный станок 1В62Г относится к универсальным токарным станкам, применяемым в единичном и мелкосерийном производстве деталей, имеющих форму тел вращения, а также для нарезания метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб.

Таблица 1. Варианты индивидуального задания по настройке кинематических цепей станка модели 1В62Г

№ варианта	Скорость резания V, м/мин	Диаметр заготовки d, мм	Продольная подача S, мм/об	Тип резьбы												
				Метрическая			Дюймовая			Модульная			Питчевая			
				Способ настройки*												
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
				Шаг резьбы												
мм			Число ниток на 1"			Модуль			Питч							
1	60	25	0,67		0,5			44								4
2	60	40	0,58		0,75			55								5
3	60	60	0,48		1			66								6
4	60	80	0,38		1,25			77								7
5	60	100	0,34		1,5			22								2
6	80	120	0,29		1,75			33								2,5
7	80	180	0,24		2			11								3
8	80	55	0,19		2,5			5,5		2,25						
9	80	70	0,17		3			32		2,75						
10	80	90	0,14		3,5			40		4,5						
11	100	135	0,35		4			48		5,5						
12	100	110	0,21		5			56		9						
13	100	30	0,1		6			16		16						
14	100	20	0,06		7			20		18						
15	100	95	0,04		8			24		24						
16	120	45	1,34		10			28		32						
17	120	190	1,15		12			8		28						
18	120	200	0,96		14			10				6,5				
19	120	220	0,19		16			12				7,5				
20	120	240	0,14		20			14				8,5				
21	150	50	5,36		24			4				9				
22	150	140	3,84		28			5				10,5				
23	150	65	2,68		32			6				4				
24	150	150	1,92		40			7								3,5
25	150	75	1,15		48			2								1
26	200	230	9,18		56			2,5								1,25
27	200	150	7,68		64			3								1,5
28	200	170	6,14		80			3,5								1,75
29	200	80	5,38		96			1								0,5
30	200	20	4,61		112			1,5								0,75

* Способы настройки станка для нарезания резьб при помощи: 1 – сменных зубчатых колес гитары и коробки подач; 2 – коробки подач; 3 – сменных зубчатых колес гитары.

Техническая характеристика станка

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм: над станиной	400
над суппортом	220
над выемкой в станине	600
Расстояние между центрами, мм	1000
Наибольшая длина обтачивания в выемке, мм	280
Диаметр цилиндрического отверстия в шпинделе, мм	52
Пределы частот вращения шпинделя, мин ⁻¹	10...1400
Пределы подач, мм/об: продольных	0,02...22,4
поперечных	0,01...11,2
Нарезание резьб: метрическая, шаг в мм	0,36...224
модульная, шаг в модулях	0,36...224
дюймовая, число ниток на 1"	77...0,125
питчевая, шаг в питчах	77...0,125
Мощность электродвигателя главного привода, кВт.	7,5

Станок предназначен для сельскохозяйственных, ремонтных, подсобных и других предприятий.

4. Устройство станка

Станина станка (рис. 1) литая, чугунная, жесткой коробчатой формы, с поперечными П-образными ребрами жесткости. На ней устанавливаются все основные узлы станка. Станина имеет две призматические и две плоские направляющие.

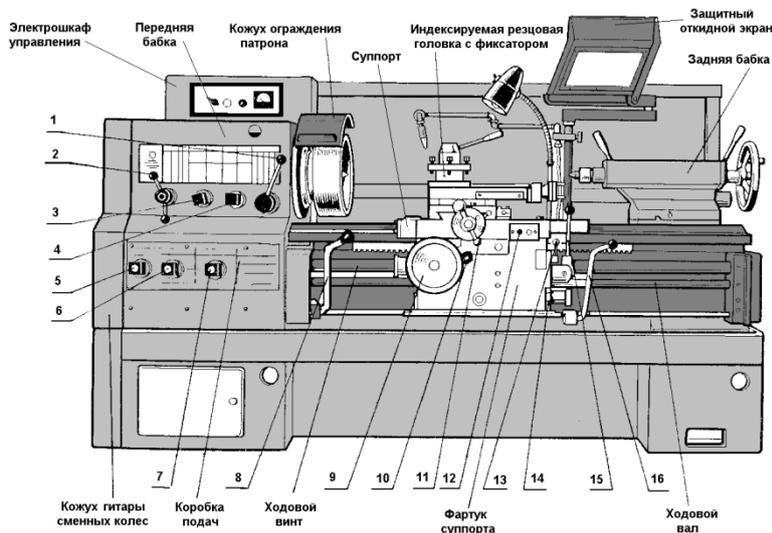


Рис. 1. Общий вид токарно-винторезного станка 1B62Г

По плоской передней и призматической задней направляющим перемещается задняя бабка, по передней призматической и задней плоской – каретка с суппортом. С левой стороны станины расположена выемка, закрытая съемным мостиком. При снятии мостика можно обрабатывать заготовки диаметром до 600 мм и длиной до 280 мм. В нише правого торца станины установлен электродвигатель ускоренных перемещений суппорта.

Станина устанавливается на цельное литое основание, представляющее правую и левую тумбы, соединенные корытом. В нише левой тумбы основания размещен электродвигатель главного движения, масляный бак и насос системы смазки. В правой тумбе размещен резервуар для смазочно-охлаждающей жидкости и насос системы охлаждения.

Передняя бабка установлена на левом конце станины. Она включает в себя коробку скоростей с ручным управлением и шпиндельный узел. Шпиндельный узел представляет собой полый вал на подшипниках качения. Правый конец шпинделя, выступающий из корпуса бабки, имеет посадочные поверхности, предназначенные для установки патрона или планшайбы, которые закрываются при работе станка щитком, занимающим два положения.

При поднятом щитке станок не включается. Отверстие в шпинделе заканчивается конусом, в который может устанавливаться хвостовик центра в случае обработки деталей в центрах. Сквозное отверстие в шпинделе дает возможность размещать в нем длинные заготовки (прутки) диаметром до 50 мм.

Коробка скоростей предназначена для сообщения шпинделю 24 различных частот прямого и 12 частот обратного, ускоренного вращения.

Гитара сменных колес расположена с левого торца передней бабки и станины, служит для передачи вращения от выходного вала VIII передней бабки (рис. 2) к приводному валу IX коробки подач. Она состоит из основного набора сменных зубчатых колес с $z = 40, 86, 64, 60, 73, 36$ и дополнительного с $z = 44, 101$ и 48. Сменные колеса применяются для настройки на точение, нарезание метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб.

Коробка подач размещена на передней стенке станины под передней бабкой. Она обеспечивает различные по величине продольные подачи суппорта – от 0,036 до 22,4 мм на один оборот шпинделя, а также возможность нарезания резьб с различным шагом. Механизм

4.1. Управление станком

Для пуска станка необходимо включить вводный автоматический выключатель на шкафу управления (см. рис. 1). При этом плафон белого цвета будет светиться. Электродвигатель главного привода станка включается кнопкой черного цвета «ПУСК», а выключается кнопкой красного цвета «СТОП», расположенными на кнопочной станции 12.

Управление частотами вращения шпинделя осуществляется двумя рукоятками 2 и 1 при невращающемся шпинделе. Рукоятка 2 имеет шесть фиксированных положений, отмеченных соответствующими цифрами на ее ступице. Этой рукояткой управляется перемещение двухвенцового блока с числом зубьев $z = 43, 38$ на валу II (см. рис. 2) и трехвенцового блока, $z = 44, 50$ и 36 на валу III, осуществляя тем самым в сочетании с поворотом рукоятки 1, перемещающей блоки ($z = 43, 64$ на шпинделе VI и $z = 50, 80$ на валу IV), установку любой частоты вращения шпинделя, указанной в таблице настройки, расположенной на передней панели.

Управление механизмом подач осуществляется при помощи рукояток 3, 4, 5, 6 и 7. Рукоятка 3 предназначена для установки нормального и увеличенного шага резьбы и подачи, которые изменяются за счет перемещения подвижного колеса 27 с $z = 50$ (звена увеличения шага) на валу VII (см. рис. 2):

1) при зацеплении подвижного колеса 27 с неподвижным 25 обеспечивается настройка станка на нормальный шаг при частотах вращения шпинделя $n = 10 \dots 1400 \text{ мин}^{-1}$;

2) при зацеплении подвижного колеса 27 с колесом 26, находящимся на валу III, шаг изменяется в зависимости от установленного ряда частот вращения шпинделя (положения рукоятки 1):

при $n = 450 \dots 1400 \text{ мин}^{-1}$ вращение от шпинделя на вал VII идет через передачи $\frac{43}{60} \cdot \frac{50}{50} = 0,72$ (шаг уменьшается в 0,72 раза);

при $n = 160 \dots 500 \text{ мин}^{-1}$ вращение идет через передачи $\frac{64}{32} \cdot \frac{50}{50} = 2$ (шаг увеличивается в два раза);

при $n = 40 \dots 125 \text{ мин}^{-1}$ шаг увеличивается в 8 раз $\frac{64}{32} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} = 8$;

при $n = 10 \dots 315 \text{ мин}^{-1}$ шаг увеличивается в 32 раза $\frac{64}{32} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{50}{50} = 32$.

Следует учитывать, что при переключении с нормального шага на увеличенный происходит изменение направления вращения вала VII. Поэтому необходимо одновременно с переключением звена увеличения шага переключать реверс с помощью рукоятки 4.

Данная рукоятка, перемещая подвижное колесо 46 с $z = 48$ на валу VIII, позволяет менять направление вращения вала за счет «включения или отключения паразитного колеса 31 с $z = 25$. Тем самым обеспечивается застройка на нарезание правой или левой резьбы.

Рукоятка 5 предназначена для установки величины подачи и шага резьбы. При установке рукоятки в одно из четырех положений «I», «II», «III», «IV» на валу XIV перемещаются подвижные двухвенцовые блоки с $z = 28, 35$ и $z = 25, 30$, вследствие чего вращение с вала XI на вал XIV передается через зацепления

$$I \Rightarrow \left\{ \frac{28}{35} = 0,8 \right\}; II \Rightarrow \left\{ \frac{28}{28} = 1 \right\}; III \Rightarrow \left\{ \frac{30}{25} = 1,2 \right\}; IV \Rightarrow \left\{ \frac{42}{30} = 1,4 \right\}.$$

Рукояткой 7 с обозначениями «А», «В», «С» и «D» перемещаются блоки 55, 56 с $z = 18, 28$ на валу XV и 39, 40 с $z = 28, 48$ на валу X, обеспечивая тем самым настройку множительного механизма коробки подач, служащего для расширения величин подач и шага резьб за счет включения с вала XV на вал X передач с соотношением

$$A \Rightarrow \left\{ \frac{1}{8} = \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} = 0,125 \right\}; B \Rightarrow \left\{ \frac{1}{4} = \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{48} = 0,25 \right\};$$

$$C \Rightarrow \left\{ \frac{1}{2} = \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} = 0,5 \right\}; D \Rightarrow \left\{ 1 = \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{28} \right\}.$$

Рукоятка 6 предназначена для выбора рода работ: «Подача в мм/об» – для точения,

«Резьба с шагом в мм» – для нарезания метрических и модульных резьб, «Резьба с числом ниток на 1"» – для нарезания дюймовых и питчевых резьб, «Включение винта напрямую» – для нарезания резьб повышенной точности.

При выборе рода работы в коробке подач происходят следующие переключения «Подача в мм/об» – включаются зубчатые муфты М3 и М4, при этом вращение с вала IX через передачу $\frac{28}{28}$, муфту М3, колесо $z = 30$ передается на вал XI. С вала XI через передачи $\frac{28}{28}; \frac{28}{35}; \frac{30}{25}$ и $\frac{42}{30}$ движение передается на вал XIV, муфту М4, на вал XV, множительный механизм, вал X, зацепление $\frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39}$ разделительной группы коробки подач, вал XVI, зацепление $\frac{28}{35}$ на вал XIII, соединенный с ходовым валом XVIII.

«Резьба с шагом в мм» – включаются зубчатые муфты М3, М4 и М5. Вращение с вала IX на вал X передается так же, как и при точении и далее на ходовой винт XVII.

«Резьба с числом ниток на 1"» – включается муфта М5 и выключаются муфты М3 и М4. Вращение с вала IX через передачу $\frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34}$, вал XIV, через одну из передач $\frac{30}{42}; \frac{25}{30}; \frac{35}{28}; \frac{28}{28}$ передается на вал XI, далее через зацепление $\frac{30}{33}$, вал XV, множительный механизм, вал X, муфту М5 – на ходовой винт XVII.

«Включение винта напрямую» – включаются муфты М2 и М5 и выключаются М3 и М4. При этом выбор величин шага резьб производится настройкой гитары сменных зубчатых колес коробки передач, а для того, чтобы механизм коробки подач не вращался вхолостую, рукоятка 7 устанавливается в одно из нейтральных положений, которые указаны на панели стрелками.

Для управления фрикционной муфтой М1 (см. рис. 2) коробки скоростей служат сблокированные между собой рукоятки 8 и 16 (см. рис. 1). Каждая из них имеет три фиксированных положения: среднее – муфта выключена, тормоз включен, поворот рукояток вверх обеспечивает прямое вращение шпинделя, поворот вниз – включение обратного вращение шпинделя.

С помощью маховика 9 вручную перемещается каретка суппорта. Вращение от вала маховика XXI (см. рис. 2) через зацепление $\frac{17}{66}$ передается на вал XX, реечное колесо $z = 10$, рейку с $z = 164$. Отсчет продольных перемещений производится по лимбу, состоящему из шкал грубого и точного отсчетов. Навалу XX имеется кнопка 10 (см. рис. 1), предназначенная для выключения и включения реечного зацепления путем вытягивания кнопки 10 «на себя» и возвращения ее в первоначальное положение. Выключать реечную шестерню необходимо при нарезании резьб.

Перед нарезанием резьб также следует включить (поворот вниз) рукоятку 13 (см. рис. 1), которая заводит в зацепление разъемную гайку с ходовым винтом. При затруднении включения гайки следует слегка переместить каретку суппорта маховиком 9, а после ее включения выключить реечную шестерню.

Для управления механическими перемещениями каретки и поперечных салазок суппорта имеется мнемоническая рукоятка 15, направление перемещения которой совпадает с направлением перемещения каретки и суппорта. Включение рукоятки 15 возможно при выключенной рукоятке 13 (поворот вверх).

При перемещении рукоятки 15 влево муфта М7 включится (см. рис. 2) и вращение от ходового вала XVIII через зубчатую передачу $\frac{30}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30}$ вал XXIV, предохранительную муфту, червячную передачу $\frac{4}{21}$ вал XXIII, зубчатую передачу $\frac{36}{41}$, вал XXII, зубчатую передачу $\frac{17}{66}$, вал XX передается на колесо 65 с $z=10$. В результате каретка будет перемещаться в сторону

передней бабки. Для перемещения в противоположную сторону рукоятка устанавливается в правом положении, включая муфту М6.

При повороте рукоятки 15 «от себя» включается муфта М8 и вращение через зацепление $\frac{34}{55} \cdot \frac{55}{27} \cdot \frac{27}{16}$ передается на винт XIX, который в данном случае будет вращаться по часовой стрелке и перемещать суппорт в направлении от токаря. Обратное направление перемещения суппорта обеспечивается включением муфты М9, что осуществляется при повороте рукоятки 19 «на себя». Переключение рукояток 15 и 13 заблокировано специальным блокировочным механизмом, обеспечивающим невозможность одновременного включения любых двух движений.

Ускоренные продольные и поперечные перемещения каретки и суппорта осуществляются при дополнительном нажатии кнопки, встроенной в рукоятку 15. При этом включается дополнительный двигатель 81 ($N = 0,75$ кВт, $n = 1370$ мин⁻¹), движение от которого через клиноременную передачу передается на ходовой вал XVIII. Для предотвращения поломок при включении ускоренных перемещений на валу XVI установлена обгонная муфта Мо.

Для предохранения механизма фартука от перегрузок в нем имеется предохранительный механизм, включающийся поднятием защелки 14 (рис. 1). Наличие этого механизма позволяет обрабатывать детали при продольном или поперечном точении по упорам.

Перемещение верхней части суппорта с резцедержателем может осуществляться только вручную вращением рукоятки с лимбом.

Задняя бабка станка должна постоянно находиться в закреплённом состоянии. Открепление ее производится только при установочных перемещениях.

5. Кинематическая схема токарно-винторезного станка 1В62Г

Кинематическая схема станка состоит из двух цепей: цепи главного движения и цепи подачи.

5.1. Цепь главного движения

Цепь главного движения связывает вращательные движения электродвигателя и шпинделя с заготовкой через клиноременную передачу и коробку скоростей. У токарно-винторезных станков данного типа имеются две цепи главного движения: беспереборная и переборная. Беспереборная цепь обеспечивает вращение шпинделя с частотой 1400...160 мин⁻¹, и в общем виде и может быть представлена уравнением (см. рис. 2)

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{эд}} \frac{D_1}{D_2} \cdot \mu \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3, \quad \text{мин}^{-1}, \quad (1)$$

где $n_{\text{шп}}$ – частота вращения шпинделя, мин⁻¹; $n_{\text{эд}}$ – частота вращения вала электродвигателя, мин⁻¹; μ – коэффициент проскальзывания ремня ($\mu=0,985$); D_1 – диаметр ведущего шкива ($D_1=128,6$ мм); D_2 – диаметр ведомого шкива ($D_2=250$ мм); i_1, i_2, i_3 – передаточные числа зубчатых зацеплений коробки скоростей (см. рис. 2) соответственно с первого вала на второй, со второго на третий и с третьего на шпиндель VI.

Подставив значения составляющих уравнения (1), получим следующее:

$n_{\text{шп}}=1450$	$\frac{128,6}{250} \cdot 0,985$	i_1	i_2	i_3	(2)
		$\frac{47}{43}$	$\frac{28}{44}$	$\frac{60}{43}$	
		$\frac{52}{38}$	$\frac{50}{36}$	$\frac{32}{64}$	
		$\frac{36}{36}$			
		Число скоростей 1	×1	×2	

Обозначив в уравнении (2) значения i_1 , i_2 и i_3 через i_n , получим

$$n_{\text{от}} = 1450 \cdot \frac{128,6}{250} \cdot 0,985 \cdot i_n \text{ мин}^{-1},$$

откуда

$$i_n = \frac{n_{\text{от}}}{735}. \quad (3)$$

Переборная цепь обеспечивает вращение шпинделя с частотой $125 \dots 10 \text{ мин}^{-1}$ и в общем виде может быть представлена следующим уравнением:

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{эд}} \frac{D_1}{D_2} \mu \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_n \cdot i_4 \text{ мин}^{-1} \quad (4)$$

где i_n – передаточное число механизма перебора; i_4 – передаточное число зубчатого зацепления $\frac{32}{64}$, передающего вращение с вала V на шпиндель станка VI .

Подставляя значения составляющих выражения (4), получим уравнение переборной кинематической цепи в развернутом виде (5).

$n_{\text{шп}}=1450$	$\frac{128,6}{250} \cdot 0,985$	$\frac{47}{43}$	$\frac{44}{20}$	i_n		$\frac{32}{64}$	
		$\frac{52}{38}$	$\frac{50}{36}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{20}{80}$		
		$\frac{36}{36}$		$\frac{20}{80}$			
Число скоростей 1	$\times 1$	$\times 2$	$\times 3$	$\times 2$	$\times 1$	$\times 1$	$= 12$

Обозначив i_1 , i_2 , i_n через i_n , получим

$$n_{\text{шп}} = 1450 \cdot \frac{128,6}{250} \cdot 0,985 \cdot \frac{32}{64} \cdot i_n \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда
$$i_n = \frac{n_{\text{шп}}}{367}. \quad (6)$$

Из приведенных уравнений видно, что шпиндель получает 24 скорости прямого вращения. При обратном вращении шпиндель получает 12 скоростей. Обратное вращение шпинделя обеспечивается включением через муфту M_1 передачи $\frac{47}{27} \cdot \frac{36}{36}$, передающей вращение с вала I на вал II , а далее, как и при прямом вращении. Приведем пример настройки цепи главного движения станка, используя полученные зависимости.

Пример. Требуется обточить заготовку диаметром $d = 120 \text{ мм}$ со скоростью резания $v = 150 \text{ м/мин}$. Необходимо определить частоту вращения шпинделя станка и записать кинематическое уравнение цепи главного движения станка, обеспечивающее настройку коробки скоростей на данную частоту вращения шпинделя. Расчетную частоту вращения шпинделя определяем по зависимости

$$n_p = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \text{ мин}^{-1}. \quad (7)$$

Подставив значения v и d в уравнение (7), получим

$$n_p = \frac{1000 \cdot 150}{\pi \cdot 120} = 398,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Сравниваем n_p с паспортными данными станка (см.рис.3) и принимаем ближайшую к расчетной. Принимаемая n_f должна быть меньше или равна n_p , или может превышать n_p не более чем на 5%. Принимаем $n=400 \text{ мин}^{-1}$. Поскольку эта частота вращения обеспечивается беспереборной цепью коробки скоростей, то i_n определяем по уравнению (3)

$$i_n = \frac{400}{735} = 0,54.$$

Принимаем $i_1 = \frac{47}{43} = 1,09$; $i_2 = \frac{36}{36} = 1$; $i_3 = \frac{32}{64} = 0,5$.

Тогда фактическое передаточное число

$$i_{нф} = 1,09 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,55.$$

Настроечное уравнение цепи главного движения будет иметь вид

$$n_{нм} = 1450 \cdot \frac{128,6}{250} \cdot 0,985 \cdot \frac{47}{43} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{32}{64} = 401,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Рассчитаем фактическую скорость обработки, используя зависимость (7)

$$v_{ф} = \frac{\pi \cdot 120 \cdot 401,5}{1000} = 151,3 \text{ м/мин.}$$

Определим абсолютную ошибку фактической скорости от заданной:

$$\Delta v = v_{ф} - v = 151,3 - 150 = 1,3 \text{ м/мин.}$$

Определяем относительную ошибку:

$$B = \frac{\Delta v}{v} \cdot 100\% = \frac{1,3}{150} \cdot 100\% = +0,87\%.$$

Если $B \leq +5\%$, то настроечное уравнение составлено правильно.

При решении данной задачи с помощью графика частот вращения шпинделя (рис. 3,4) выбирается линия, соответствующая $n_{ф}$ (для примера рассмотренного выше, линия на графике (рис. 3) сделана толще). Затем по этой линии определяются соответствующие передаточные числа. Причем при определении передаточного числа следует учитывать следующее:

- 1) на графике учитывается только абсолютная величина передаточного числа;
- 2) при передаточном числе i больше единицы участок линии, соответствующей выбранной частоте вращения, возрастает, при $i < 1$ – убывает и при $i = 1$ – проходит горизонтально;
- 3) при $i > 1$ большему передаточному числу соответствует линия с более крутой характеристикой и при $i < 1$ – с более пологой характеристикой.

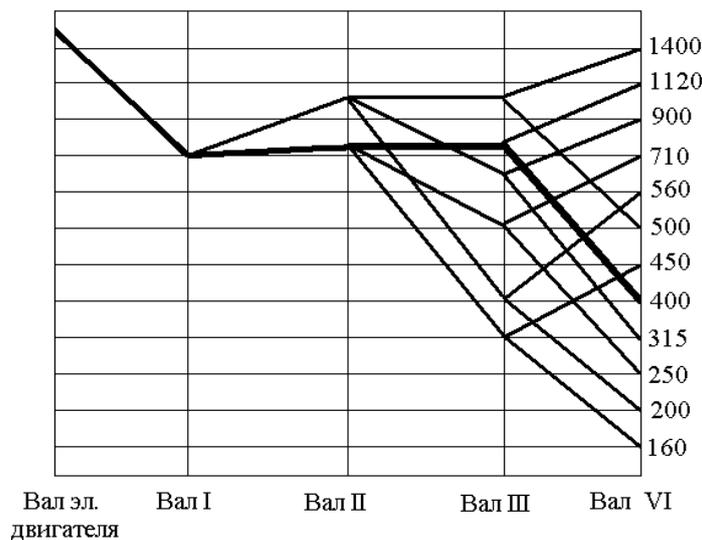


Рис. 3. График частот вращения шпинделя для беспереборной цепи

Таким образом, для нашего примера передаточное число с вала I на вал II будет равняться $i_1 = \frac{47}{43} = 1,09$ (возрастающий участок линии с более пологой характеристикой по сравнению с $i = \frac{52}{38} = 1,37$), с вала II на вал III – $i_2 = \frac{36}{36}$ (горизонтальный участок), с вала III на вал VI – $i_3 = \frac{32}{64} = 0,5$ (убывающий участок).

Значит, для нашей задачи передаточные числа будут равны следующим значениям:

$$i_1 = \frac{47}{43} = 1,09; i_2 = \frac{36}{36} = 1; i_3 = \frac{32}{64} = 0,5.$$

Дальнейшие расчеты проводятся так, как было описано выше.

чивает табличные значения продольных и поперечных подач суппорта, а также нарезаемых метрических и дюймовых резьб; $i_r = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{36}{86} \cdot \frac{60}{73} = 0,344$ – дополнительный набор сменных зубчатых колес гитары, обеспечивающий табличные значения продольных и поперечных подач суппорта, уменьшенных по сравнению с набором, установленным на заводе; $i_r = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{86}{36} \cdot \frac{60}{73} = 1,96$ – обеспечивает табличные значения нарезаемых модульных и питчевых резьб; $i_{кп}$ – образуется из произведения передаточных чисел одной из зубчатых передач с вала XI на вал XIV, в выражении (9) обозначено как (i)

$$I \Rightarrow \left\{ \frac{28}{35} = 0,8 \right\}; II \Rightarrow \left\{ \frac{28}{28} = 1 \right\}; III \Rightarrow \left\{ \frac{30}{25} = 1,2 \right\}; IV \Rightarrow \left\{ \frac{42}{30} = 1,4 \right\}$$

и множительного механизма $i_{мн}$

$$A \Rightarrow \left\{ \frac{1}{8} = \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} = 0,125 \right\}; B \Rightarrow \left\{ \frac{1}{4} = \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{48} = 0,25 \right\};$$

$$C \Rightarrow \left\{ \frac{1}{2} = \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} = 0,5 \right\}; D \Rightarrow \left\{ 1 = \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{28} \right\}.$$

Обозначим в уравнении (9) $i_{зущ} \cdot i_r \cdot i_{мн} = i_n$ и, проведя с его неизменными составляющими соответствующие действия, получим зависимость

$$i_n = 1,26 \times S_{пр}. \quad (10)$$

Приведем пример настройки цепи продольной подачи $S_{пр}$ станка, используя уравнения (9, 10).

Пример. Настроить станок на продольное точение с подачей $S_{пр} = 0,4$ мм/об. По зависимости (10) $i_n = 1,26 \cdot 0,4 = 0,5$ или по приложению 1 подбираем значения составляющих i_n , исходя из $S_{пр} = 0,4$ мм/об;

$$i_r = 0,63; i_{зущ} = 1; I = 0,8; i_{мн} = 1.$$

Рассчитаем фактическое передаточное число

$$i_{нф} = 0,63 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,504.$$

Составим настроечное уравнение цепи продольной подачи:

$$S_{пр.ф} = 1 \cdot \frac{i_{зущ}}{50} \cdot \frac{i_r}{32} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{i_{кп}}{i_{мн}}$$

$$\cdot \frac{i_{ф}}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{17}{66} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 0,383 \text{ мм/об.}$$

Определим абсолютную ошибку фактической подачи от заданной:

$$\Delta S_{пр} = S_{пр.ф} - S_{пр} = 0,383 - 0,4 = -0,017 \text{ мм/об.}$$

Определяем относительную ошибку:

$$B = \frac{\Delta S_{пр}}{S_{пр}} \cdot 100 \% = \frac{-0,017}{0,4} \cdot 100 \% = -4,3 \%$$

5.3. Настройка кинематических цепей станка для нарезания резьб

Для настройки цепи подач при нарезании резьбы связываем вращательные движения шпинделя и ходового винта. В общем виде эта кинематическая цепь может быть представлена следующим уравнением:

$$1 \cdot i_{зущ} \cdot i_r \cdot i_{кп} \cdot P_{хв} = P_n, \quad (11)$$

где P_n – шаг нарезаемой резьбы, мм; $P_{хв}$ – шаг ходового винта станка, мм.

Так как на универсально-винторезном станке предусмотрено нарезание **метрических, дюймовых, модульных и питчевых** резьб, то, подставляя известные значения составляю-

щих уравнения (11), получим следующие уравнения кинематических цепей, обеспечивающих нарезание резьб, приведенных в таблице, закрепленной на коробке подачи станка, с параметрами шага соответственно P_n – мм, n – число ниток на 1", m – модуль в мм, p – питч.

Для метрической резьбы

$$P_n = 1 \cdot i_{\text{зущ}} \cdot \frac{i_p}{48} \cdot \frac{i_r}{86} \cdot \frac{28}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{35}{30} \cdot i_{\text{мн}} \cdot 12 \text{ мм.} \quad (12)$$

$\frac{i_{\text{кп}}}{\begin{array}{|c|} \hline 28 \\ \hline 28 \\ \hline 28 \\ \hline 35 \\ \hline 30 \\ \hline 25 \\ \hline 42 \\ \hline 30 \\ \hline i \end{array}}$

Обозначим в уравнении (12)

$$i_{\text{зущ}} \cdot i_{\text{мн}} = i_n$$

Проведя с его неизменными составляющими соответствующие действия, получим следующую зависимость:

$$i_n = \frac{P_n}{5}. \quad (13)$$

Для дюймовой резьбы

$$P''_n = 1 \cdot i_{\text{зущ}} \cdot \frac{i_p}{48} \cdot \frac{i_r}{86} \cdot \frac{28}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{28}{25} \cdot \frac{30}{33} \cdot i_{\text{мн}} \cdot 12 \text{ мм,} \quad (14)$$

$\frac{i_{\text{кп}}}{\begin{array}{|c|} \hline 28 \\ \hline 28 \\ \hline 35 \\ \hline 28 \\ \hline 25 \\ \hline 30 \\ \hline 30 \\ \hline 42 \\ \hline i \end{array}}$

где $i = \left\{ \frac{30}{42} = 0,714; \frac{25}{30} = 0,833; \frac{35}{28} = 1,25; \frac{28}{28} = 1 \right\}$.

Выразим метрический шаг дюймовой резьбы P''_n через n – число ниток на один дюйм ($1'' = 25,4 \text{ мм}$):

$$P''_n = \frac{25,4}{n} \text{ мм.} \quad (15)$$

Обозначив $i_{\text{зущ}} \cdot i_{\text{мн}} = i_n$ и подставив значение P''_n в уравнение (14), получим

$$i_n = \frac{5}{n}. \quad (16)$$

Для модульной резьбы (см. выражение 17)

$$P_m = 1 \cdot i_{\text{зущ}} \cdot \frac{i_p}{48} \cdot \frac{i_r}{86} \cdot \frac{60}{73} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{35}{30} \cdot i_{\text{мн}} \cdot 12 \text{ мм.} \quad (17)$$

$\frac{i_{\text{кп}}}{\begin{array}{|c|} \hline 28 \\ \hline 28 \\ \hline 28 \\ \hline 35 \\ \hline 30 \\ \hline 25 \\ \hline 42 \\ \hline 30 \\ \hline i \end{array}}$

Выразим метрический шаг модульной резьбы P_m через модуль

$$P_m = \pi \cdot m \text{ мм.} \quad (18)$$

Выразим $P''_{нф}$ в принятых для дюймовой резьбы единицах:

$$n = \frac{25,4}{P''_{нф}} = \frac{25,4}{10,16} = 2,5 \text{ ниток/1"}.$$

В соответствии с примером проведем настройку станка. Рукоятку 6 устанавливаем в положение «Резьба с числом ниток на 1"», рукоятку 3 – в положение «Увеличенный шаг», рукоятку 4 – в положение «Правая резьба», рукоятки 5 и 7 – в положение соответственно «П» и «D», рукояткой 2 выбирается указанный в таблице ряд частот $160 \dots 500 \text{ мин}^{-1}$, обеспечивающий нарезание данной резьбы, а рукояткой 1 выбирается необходимая частота вращения из этого ряда, обеспечивающая необходимую скорость резания [2].

На станке 1В62Г предусмотрена возможность нарезания метрических резьб с шагами, уменьшенными вдвое, и дюймовых с удвоенным числом ниток на дюйм по сравнению с табличными. Для этого гитару коробки передач собирают в следующей комбинации:

$$\frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{36 \cdot 64}{101 \cdot 73} = 0,313.$$

При установке сменных шестерен в комбинации $\frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{60 \cdot 86}{86 \cdot 48} = 1,25$ можно нарезать метрические резьбы с удвоенными шагами, а дюймовые с уменьшенным вдвое числом ниток на дюйм по сравнению с табличными, получаемыми с основным набором:

$$\frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{40 \cdot 86}{86 \cdot 64} = 0,625.$$

Настройка станка на нарезание резьб с параметрами, не указанными в таблице, укрепленной на кожухе коробки подач, осуществляется при помощи гитары коробки передач и коробки подач. В этом случае применяются различные комбинации сменных колес гитары с числом зубьев $z = 36, 40, 44, 57, 60, 64, 73, 86$ и 101 .

Метрические резьбы. Передаточное число гитары определяем по следующей зависимости:

$$i_r = \frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{40 \cdot P_n}{64 \cdot P_r}, \quad (23)$$

где P_n – шаг нарезаемой резьбы, мм; P_r – ближайший шаг резьбы, указанный в таблице, мм.

Настройку коробки подач проведем, используя уравнение (13)

$$i_n = \frac{P_r}{5}.$$

Пример. Настроить кинематическую цепь станка на нарезание метрической резьбы с шагом $P_n = 9$ мм. По таблице, укрепленной на кожухе коробки подач, в ряду метрических резьб находим ближайшие к нарезаемому значения шага резьбы ($P_r = 8$ и 10 мм). Берем для дальнейших расчетов одно из них, например, $P_r = 10$ мм. Подставляем значения P_r и P_n в зависимость (23):

$$i_r = \frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{40 \cdot 9}{64 \cdot 10} = \frac{36}{64} \approx 0,56.$$

Подбираем из числа сменных колес гитары в следующей комбинации:

$$\frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{36 \cdot 86}{86 \cdot 64} \approx 0,56.$$

Проверим сцепляемость выбранных сменных зубчатых колес гитары по следующим зависимостям:

$$K+L > M+(15 \dots 20), \quad (24)$$

$$M+N > L+(15 \dots 20). \quad (25)$$

Подставим соответствующие значения в приведенные зависимости (24 и 25):

$$36+86 > 86+(15 \dots 20),$$

$$86+64 > 86+(15 \dots 20).$$

Условие сцепляемости удовлетворяется. В противном случае за счет тождественного образования полученной комбинации добиваются необходимого результата. Например, для

нашего случая такими преобразованиями могли бы быть варианты:

$$\frac{36}{86} \cdot \frac{86}{64} = \frac{36}{48} \cdot \frac{48}{64} = \frac{54}{72} \cdot \frac{48}{64} \text{ и т. д.}$$

В случае получения колес с числом зубьев, не входящих в основной и дополнительный наборы, их допускается изготавливать самостоятельно.

По уравнению (13) рассчитаем i_n :

$$i_n = \frac{10}{5} = 2.$$

Подбираем значения составляющих i_n :

$$i = 1; i_{mn} = 1; i_{зуш} = 2.$$

Составляем настроечное уравнение для нарезания заданной резьбы, используя уравнение (12):

$$P_n = 1 \cdot \frac{64}{32} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{36}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{28} \cdot 12 = 9 \text{ мм.}$$

В соответствии с приведенными расчетами проведем настройку станка.

Установим сменные шестерни гитары коробки передач в принятой комбинации. Рукоятку 6 (см. рис. 1) устанавливаем в положение «Метрическая резьба», а рукоятки 7 и 5 – в положения, указанные в правой верхней части таблицы при выборе $P_T = 10$ мм, это соответственно «D» и II. Рукоятку 3 устанавливаем в положение «Увеличенный шаг», рукояткой 2 выбирается указанный в таблице ряд частот от 160 до 500 мин⁻¹, обеспечивающий нарезание данного шага, а рукояткой 1 выбирается необходимая частота вращения шпинделя.

Дюймовые резьбы. Передаточное отношение гитары определяем по следующей зависимости:

$$i_r = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{40}{64} \cdot \frac{n_T}{n_n}, \quad (26)$$

где n_n – параметр нарезаемой резьбы, ниток/1"; n_T – ближайшее табличное значение нарезаемой резьбы, ниток/1".

Настройку коробки подач проведем, используя уравнение (16):

$$i_n = \frac{5}{n_T}.$$

Пример. Настроить кинематическую цепь станка на нарезание дюймовой резьбы $n_n=27$ ниток/1". Находим ближайшее табличное значение $n_T = 28$ ниток/1".

Подставляем значения n_n и n_T в зависимость (24):

$$i_a = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{40}{64} \cdot \frac{28}{27} = \frac{35}{54} = 0,648.$$

В прилагаемом к станку наборе отсутствуют колеса, которые могли бы обеспечить данное передаточное число. Принимаем ближайшее возможное

$$\frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{36}{86} \cdot \frac{86}{57} = 0,63.$$

Проверяем выбранную гитару на сцепляемость по зависимостям (24, 25):

$$36+86 > 86+(15...20);$$

$$86+57 > 86+(15...20).$$

Условие сцепляемости удовлетворяется.

По уравнению (16) рассчитаем i_n : $i_n = \frac{5}{28} = 0,18.$

Подбираем значения составляющих i_n :

$$i=0,71; i_{mn}=0,25; i_{зуш}=1;$$

$$i_n=1 \cdot 0,71 \cdot 0,25=0,18.$$

Составим настроечное уравнение для нарезания заданной резьбы, используя уравнение (14):

$$P''_{нф} = 1 \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{36}{86} \cdot \frac{86}{57} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{30}{33} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{48} \cdot 12 = 0,92,$$

где $P''_{\text{нф}}$ – фактический шаг нарезаемой резьбы, мм.

Выразим метрический шаг $P''_{\text{нф}}$ дюймовой резьбы через число ниток на один дюйм:

$$n_{\text{нф}} = \frac{25,4}{P''_{\text{нф}}} = \frac{25,4}{0,92} = 27,61 \text{ ниток/1"}.$$

Определим абсолютную ошибку фактического шага резьбы от заданного:

$$\Delta n = n_{\text{нф}} - n_n = 27,61 - 27 = 0,61 \text{ ниток/1"}.$$

Определим относительную ошибку:

$$B = \frac{\Delta n}{n_n} \cdot 100\% = \frac{0,61}{27} \cdot 100\% = 2,2\%.$$

В соответствии с приведенными расчетами проведем настройку станка.

Установим сменные шестерни гитары коробки передач в принятой комбинации. Рукоятку 6 устанавливаем в положение «Резьба с числом ниток на 1"», а рукоятки 7 и 5 – в положения, указанные в таблице при выборе $n_T = 28$ ниток/1". Это «В» и IV соответственно. Так как $i_{\text{зуш}} = 1$, то рукоятку 3 устанавливаем в положение «Нормальный шаг». Частота вращения вала шпинделя выбирается при помощи рукояток 2 и 1 в зависимости от рекомендуемой скорости резания при нарезании резьб [2], так как данную резьбу можно нарезать при частотах от 10 до 1400 мин^{-1} (см. таблицу на коробке подач станка).

Модульные резьбы. Передаточное число гитары коробки передач определяем по зависимости

$$i_r = \frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{60 \cdot 86 \cdot m_n}{73 \cdot 36 \cdot m_T}, \quad (27)$$

где m_n – шаг нарезаемой резьбы; m_T – ближайшее табличное значение шага нарезаемой резьбы.

Настройку коробки подач проведем, используя уравнение (19)

$$i_n = \frac{m_T}{5}.$$

Пример. Настроить кинематическую цепь станка на нарезание модульной резьбы $m_n = 6,5$ мм. Принимаем табличное значение $m_T = 6$ мм. По зависимости (27) рассчитываем i_r :

$$i_r = \frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{60 \cdot 86 \cdot 6,5}{73 \cdot 36 \cdot 6} = 2,12.$$

Из прилагаемого набора колес выбираем следующие:

$$i_r = \frac{K \cdot M}{L \cdot N} = \frac{57 \cdot 86}{64 \cdot 36} = 2,13.$$

Проверяем выбранную гитару на сцепляемость:

$$57 + 64 > 86 + (15 \dots 20);$$

$$86 + 36 > 64 + (15 \dots 20).$$

Условие сцепляемости выполняется. По уравнению (19) рассчитаем i_n :

$$i_n = \frac{m_T}{5} = \frac{6}{5} = 1,2.$$

Принимаем $i = 1,2$; $i_{\text{мн}} = 0,125$; $i_{\text{зуш}} = 8$;

$$i_n = 1,2 \cdot 0,125 \cdot 8 = 1,2.$$

Составляем настроечное уравнение для нарезания заданной резьбы, используя исходное уравнение (17):

$$P''_{\text{нф}} = 1 \cdot \frac{64}{32} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{57}{64} \cdot \frac{86}{36} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{30}{25} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} \cdot 12 = 20,45 \text{ мм}.$$

Выразим фактический шаговой размер $P''_{\text{нф}}$ (мм), через модуль, используя зависимость (18):

$$m_{\text{нф}} = \frac{P''_{\text{нф}}}{\pi} = \frac{20,45}{\pi} \approx 6,51 \text{ мм}.$$

Определим абсолютную ошибку фактического параметра нарезаемой резьбы от задан-

ного:

$$\Delta m = m_{\text{нф}} - m_{\text{н}} = 6,51 - 6,5 = 0,01 \text{ мм.}$$

Определим относительную ошибку

$$B = \frac{\Delta m}{m_i} \times 100 \% = \frac{0,01}{6,5} \times 100 \% \approx 0,15 \% .$$

В соответствии с приведенными расчетами проведем настройку станка. Установим сменные колеса гитары коробки передач в принятой комбинации. Рукоятку 6 устанавливаем в положение «Резьба с шагом в мм», а рукоятки 7 и 5 – в положения, указанные в таблице при выборе $m_{\text{т}} = 6$. Это соответственно «А» и III. Так как $i_{\text{зущ}} = 8$, рукоятку 3 переводим в положение «Увеличенный шаг». Рукояткой 2 выбирается в указанной таблице ряд частот от 40 до 125 мин^{-1} , обеспечивающий нарезание данной резьбы, а рукояткой 1 выбирается необходимая частота вращения из этого ряда.

Питчевая резьба. Передаточное число гитары коробки передач определяем по зависимости

$$i_{\text{т}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36} \cdot \frac{p_{\text{т}}}{p}, \quad (28)$$

где p – параметр нарезаемой резьбы, питч; $p_{\text{т}}$ – ближайший параметр резьбы в питчах, указанный в таблице.

Настройку коробки подач проведем, используя уравнение (22)

$$i_{\text{н}} = \frac{5}{p_{\text{т}}} .$$

Пример. Настроить кинематическую цепь станка на нарезание питчевой резьбы $p_{\text{н}} = 4,5$ питча. Принимаем табличное значение $p_{\text{т}} = 4$ питча.

Подставляем значения p и $p_{\text{т}}$ в зависимость (28):

$$i_{\text{т}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36} \cdot \frac{4}{4,5} = 1,745 .$$

Выбираем из набора, прилагаемого к станку, следующие колеса:

$$i_{\text{т}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{86}{36} \cdot \frac{44}{60} \approx 1,75 .$$

Проверяем выбранную гитару на сцепляемость:

$$86 + 36 > 44 + (15 \dots 20);$$

$$44 + 60 > 36 + (15 \dots 20).$$

Условие сцепляемости удовлетворяется. По уравнению (22) рассчитываем $i_{\text{н}}$:

$$i_{\text{н}} = \frac{5}{p_{\text{т}}} = \frac{5}{4} = 1,25 .$$

Подбираем значения составляющих $i_{\text{н}}$:

$$i = 1,25; i_{\text{мн}} = 0,5; i_{\text{зущ}} = 2;$$

$$i_{\text{н}} = 1,25 \cdot 0,5 \cdot 2 = 1,25.$$

Составляем настроечное уравнение нарезания заданной резьбы, используя зависимость (20):

$$P_{\text{нф}} = 1 \cdot \frac{64}{32} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{86}{36} \cdot \frac{44}{60} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{30}{33} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} \cdot 12 = 17,93 \text{ мм,}$$

где $P_{\text{нф}}$ – фактический шаг нарезаемой резьбы, мм.

Выразим фактический метрический шаг питчевой резьбы через число питчей, используя зависимость (21):

$$p_{\text{ф}} = \frac{25,4 \cdot \pi}{P_{\text{нф}}} = \frac{25,4 \cdot \pi}{17,93} \approx 4,45 \text{ питча.}$$

Определим абсолютную ошибку фактического шага резьбы от заданного:

$$\Delta p = p_{\text{н}} - p_{\text{ф}} = 4,5 - 4,45 = 0,05 \text{ питча.}$$

Определим относительную ошибку:

$$B = \frac{\Delta p}{p_i} \times 100 \% = \frac{0,05}{4,5} \times 100 \% \approx 1,11 \% .$$

Настройка станка проводится аналогично приведенным выше примерам.

Настройка станка на нарезание резьбы повышенной точности осуществляется за счет непосредственного соединения ходового винта со шпинделем через сменные колеса гитары коротки передач с отключением механизма коробки подач. Для этого рукоятка 6 (см. рис. 1) устанавливается в положение «Включение винта напрямую», а рукоятка 7 – в нейтральное положение (выступ ступицы совмещается со стрелкой).

Подбор сменных шестерен для нарезания резьбы повышенной точности с требуемыми параметрами производится по формуле

$$i_{\text{см}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{P}{8}, \quad (29)$$

где P – шаговый размер резьбы в мм.

При расчете $i_{\text{см}}$ для нарезания модульных, дюймовых и питчевых резьб задаваемый параметр каждой резьбы переводится при помощи зависимостей (18, 15, 21) в шаговый размер P .

Пример. Настроить станок на нарезание модульной резьбы $m_n = 4,25$ мм. Выразим параметр m_n модульной резьбы через шаговый размер P (мм), используя зависимость (18):

$$P = m_n \cdot \pi = 4,25 \cdot \pi = 13,35 \text{ мм.}$$

Подставляем значение P в формулу (29)

$$i_{\text{см}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{P}{8} = \frac{13,35}{8} \approx 1,67 .$$

Данное передаточное число обеспечивается следующим набором колес гитары:

$$i_{\text{см}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{60}{86} \cdot \frac{86}{36} \approx 1,67 .$$

Рассчитаем фактический шаговый размер $P_{\text{ф}}$ при принятой гитаре:

$$P_{\text{ф}} = 1 \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{60}{86} \cdot \frac{86}{36} \cdot 12 = 13,36 \text{ мм.}$$

Выразим шаговый размер $P_{\text{ф}}$ через модуль

$$m_{\text{нф}} = \frac{P_{\text{нф}}}{\pi} = \frac{13,36}{\pi} \approx 4,25 \text{ мм.}$$

Значит, настройка станка выполнена верно.

Нарезание многозаходной резьбы. В многозаходной резьбе различают ход и шаг резьбы. Ходом многозаходной резьбы называется расстояние между одноименными точками одного и того же витка, измеренное параллельно оси резьбы, или то расстояние, на которое переместится вдоль оси болт или гайка за один его оборот.

Для однозаходной резьбы ее ход S равен шагу резьбы P . В тех случаях, когда ход равен нескольким шагам резьбы, она называется многозаходной. Очевидно, что ход резьбы равен шагу резьбы, умноженному на число заходов k , т. е. $S = P \cdot k$. Определение числа заходов многозаходной резьбы проводят подсчетом числа концов витков на торце винта или гайки.

Многозаходная резьба нарезается двумя способами: – после нарезания первой нитки заготовку поворачивают на часть оборота $\frac{1}{k}$, предварительно разомкнув винторезную цепь; – или оставляя заготовку неподвижной, суппорт вместе с резцом перемещают в осевом направлении на величину шага однозаходной резьбы и таким образом нарезают следующую нитку. Отсчет продольного перемещения проводят по лимбу винта верхнего суппорта.

6. Вопросы для самопроверки

1. Из каких основных узлов состоит токарно-винторезный станок? Их назначение.
2. Как определить с помощью таблицы частот положения соответствующих рукояток на станке для установки заданной частоты вращения шпинделя?
3. Как определить с помощью таблицы подач положения соответствующих рукояток на станке для осуществления заданной подачи?
4. Как подсчитать максимальную и минимальную частоты вращения шпинделя станка?

5. Заготовки, каких деталей обрабатывают в центрах?
6. Способы точения конических поверхностей.
7. Какие валы называют эксцентриковыми и как их обрабатывают на токарных станках?
8. Когда при обработке заготовки применяют люнеты?
9. Чему должно равняться соотношение между частотой вращения заготовки (шпинделя) и перемещением суппорта при наладке станка на нарезание резьбы резцом?
10. Какие резьбы служат для передачи движения? Приведите пример их применения.
11. Каковы особенности нарезания левой резьбы?
12. Каковы особенности настройки станка для нарезания многозаходных резьб?
13. Покажите кинематические цепи станка, обеспечивающие нарезание метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб.
14. Особенности настройки станка при нарезании точных резьб.

Приложение 1

Таблица подбора передаточных чисел для продольных и поперечных подач токарно-винторезного станка 1В62Г

$i_{\text{мш}}$																i_r	$i_{\text{зуп}}$
А				В				С				D					
$\frac{18}{45} \times \frac{15}{48} = 0,125$				$\frac{28}{35} \times \frac{15}{48} = 0,25$				$\frac{18}{45} \times \frac{35}{28} = 0,5$				$\frac{28}{35} \times \frac{35}{28} = 1,0$					
i																	
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)		
28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30		
0,036	0,044	0,055	0,065	0,073	0,091	0,109	0,127	0,145	0,182	0,218	0,255	0,291	0,364	0,436	0,509		
0,05	0,06	0,075	0,09	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7		
0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4		
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2	2,4	2,8	3,2	4	4,8	5,6		
1,6	2	2,4	2,8	3,2	4	4,8	5,6	6,4	8	9,6	11,2	12,8	16	19,2	22,4		
0,02	0,024	0,03	0,036	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,2	0,24	0,28		
0,028	0,033	0,04	0,05	0,055	0,069	0,083	0,096	0,11	0,138	0,165	0,193	0,22	0,275	0,33	0,385		
0,055	0,069	0,083	0,096	0,11	0,138	0,165	0,193	0,22	0,275	0,33	0,385	0,44	0,55	0,66	0,77		
0,22	0,275	0,33	0,385	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	1,1	1,32	1,54	1,76	2,2	2,64	3,08		
0,88	1,1	1,32	1,54	1,76	2,2	2,64	3,08	3,52	4,4	5,28	6,16	7,04	8,08	10,56	12,52		

Приложение 2

Таблица подбора передаточных отношений для метрических и модульных резьб токарно-винторезного станка 1В62Г

$i_{\text{мш}}$																i_r	$i_{\text{зуп}}$
А				В				С				D					
$\frac{18}{45} \times \frac{15}{48} = 0,125$				$\frac{28}{35} \times \frac{15}{48} = 0,25$				$\frac{18}{45} \times \frac{35}{28} = 0,5$				$\frac{28}{35} \times \frac{35}{28} = 1,0$					
i																	
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)	(0,8)	(1)	(1,2)	(1,4)		
28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30	28/35	28/28	30/25	42/30		
0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,9	1,08	1,26	1,44	1,8	2,16	2,52	2,88	3,6	4,32	5,04		
0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7		
1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	12	14		
4	5	6	7	8	10	12	14	16	20	24	28	32	40	48	56		
16	20	24	28	32	40	48	56	64	80	96	112	128	160	192	224		

Примечание: для передаточного числа гитары числитель – для метрических, а знаменатель – для модульных резьб.

Таблица подбора передаточных отношений для дюймовых и питчевых резьб
токарно-винторезного станка 1В62Г

$i_{\text{мш}}$																i_r	$i_{\text{зуш}}$
А				В				С				D					
$\frac{18}{45} \times \frac{15}{48} = 0,125$				$\frac{28}{35} \times \frac{15}{48} = 0,25$				$\frac{18}{45} \times \frac{35}{28} = 0,5$				$\frac{28}{35} \times \frac{35}{28} = 1,0$					
i																	
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
35/28	28/28	25/30	30/42	35/28	28/28	25/30	30/42	35/28	28/28	25/30	30/42	35/28	28/28	25/30	30/42		
(1,25)	(1)	(0,83)	(0,71)	(1,25)	(1)	(0,83)	(0,71)	(1,25)	(1)	(0,83)	(0,71)	(1,25)	(1)	(0,83)	(0,71)		
44	55	66	77	22	27,5	33	38,5	11	13,75	16,5	19,25	5,5	6,875	8,25	9,63		
32	40	48	56	16	20	24	28	8	10	12	14	4	5	6	7		
16	20	24	28	8	10	12	14	4	5	6	7	2	2,5	3	3,5		
4	5	6	7	2	2,5	3	3,5	1	1,25	1,5	1,75	0,5	0,625	0,75	0,875		
1	1,25	1,5	1,75	0,5	0,625	0,75	0,875	0,25	0,313	0,375	0,436	0,125	0,156	0,188	0,219		
																0,625 1,96	0,717
																	1
																	2
																	8
																32	

Примечание: для передаточного числа гитары числитель – для дюймовых, а знаменатель – для питчевых резьб.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ОТ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ

- Цель работы:** 1) ознакомиться с источниками возникновения сил резания, составляющими равнодействующей силы P_z и соотношением между ними;
- 2) ознакомиться с методами измерения сил резания и применяемым оборудованием;
- 3) изучить устройство динамометра ДК-1 и получить навыки его тарирования;
- 4) определить опытным путем зависимость вертикальной составляющей силы резания от элементов режима резания;
- 5) приобрести практические навыки в выполнении исследований, обработке и анализе опытных данных и их обобщении.

Оборудование рабочего места. Для выполнения лабораторной работы применяются следующие оборудование, приборы, инструменты, приспособления и материалы:

- токарно-винторезный станок модели 1К62 или любой другой такого же типоразмера;
- однокомпонентный механический динамометр ДК-1;
- резцы твердосплавные токарные проходные прямые с различной геометрией лезвия;
- набор шаблонов и универсальный угломер ЛМТ для контроля радиуса закругления вершины каждого резца r_v и углов его заточки (γ , α , ϕ , ϕ' , λ);
- тарировочное устройство к динамометру ДК-1;
- штангенциркуль марки ШЦ-2-300-0,05 ГОСТ 116-80 с пределом измерения 300 мм, ценой деления 0,05 мм и линейка металлическая;
- заготовки длиной 300–450 мм и диаметром 60–120 мм из сталей разных марок.

1. Порядок выполнения работы

1. При самостоятельной работе, пользуясь настоящими методическими указаниями и наглядными пособиями, изучить:
 - общие сведения об источниках возникновения сил резания, разложении общей силы на составляющие, их влияние на заготовку и узлы станка;
 - конструкцию динамометра ДК-1 и методику его тарирования.
2. Во время занятий выполнить:
 - замеры геометрических элементов резца и заготовки (каждому звену задается своя геометрия резца и характеристики заготовки);
 - тарирование динамометра ДК-1 с построением графика, позволяющего расшифровывать показания индикатора;

– исследовать влияние глубины резания t , подачи S и скорости резания V на вертикальную составляющую силу P_z (режим обработки t, S, V задается каждому звену свой);

– построить графики функциональных зависимостей $P_z = f(t)$; $P_z = f(S)$ и $P_z = f(V)$ и определить значения коэффициентов C_{1P_z} , C_{2P_z} , C_{3P_z} и показателей степеней при глубине X_{P_z} , подаче Y_{P_z} и скорости n_{P_z} .

3. Составить экспериментальные частные расчетные формулы, связывающие силу P_z соответственно с глубиной, подачей и скоростью резания.

4. Определить значение коэффициента C_{P_z} , входящего в обобщенную зависимость (21). Проанализировать степень влияния t, S и V на вертикальную составляющую силу P_z .

5. Установить статистическую ошибку опыта проведенных исследований.

6. Сопоставить полученные данные с нормативными для аналогичных условий и с данными другого звена или с результатами компьютерной обработки. Сделать выводы.

2. Содержание отчета

1. Общие сведения об источниках возникновения сил резания, разложение общей силы на составляющие, их влияние на заготовку и узлы станка.

2. Характеристику резца (тип, марка материала, его расфировка, геометрические параметры лезвия).

3. Таблицу с результатами измерений (опытными данными).

4. Графики функциональных зависимостей $P_z = f(t)$; $P_z = f(S)$ и $P_z = f(V)$. Расчеты по обработке результатов опытных данных, экспериментальные частные расчетные формулы, связывающие силу P_z соответственно с глубиной, подачей и скоростью резания.

5. Расчеты по определению обобщенного коэффициента C_{P_z} , входящего в зависимость (21). Анализ степени влияния t, S и V на вертикальную составляющую силу P_z .

6. Определение статистической ошибки опыта проведенных исследований.

3. Общие сведения

В процессе резания на лезвие инструмента (резца, фрезы, сверла и пр.) действуют следующие силы сопротивления перемещению его по траектории относительного рабочего движения: сила упругой деформации снимаемого слоя и обработанной поверхности; сопротивление обрабатываемого материала пластической деформации стружкообразования; сопротивление пластически деформированных металлов разрушению в местах возникновения новых поверхностей; сопротивление срезанной стружки дополнительной деформации изгиба и ломанию; силы трения на лезвии и других трущихся поверхностях рабочей части инструмента.

Вышеназванные силы сопротивления перемещению лезвия по траектории относительного рабочего движения нестабильны. Их значения могут колебаться на $\pm 5-10\%$ от средних величин. Тем не менее их можно показать несколько в упрощенном виде схематически (рис. 1, а).

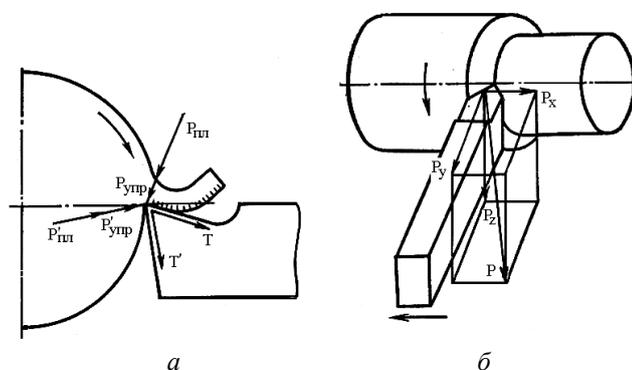


Рис. 1. Схема сил, действующих на токарный резец: а – к передней поверхности резца; б – разложение силы резания на составляющие

Со стороны срезанного слоя нормально к передней поверхности резца (рис. 1, а) действуют сила упругой деформации $P_{упр}$ и сила пластической деформации $P_{пл}$. Со стороны об-

работанной поверхности нормально к задней поверхности резца действуют также силы упругой $P'_{упр}$ и пластической деформации $P'_{пл}$. При относительном перемещении резца и заготовки возникают силы трения по передней и задней поверхности резца:

$$T = \mu(P_{упр} + P_{пл}) \text{ и } T' = \mu'(P'_{упр} + P'_{пл}), \quad (1)$$

где μ и μ' – коэффициенты трения.

Эта система сил приводится к одной силе P (см. рис. 1, б), называемой силой резания. Ее принято выражать в ньютонах (Н) или кило-ньютонах (кН). В практических расчетах используют составляющие силы резания:

P_z – главная составляющая силы резания, или тангенциальная (вертикальная) сила, касательная к поверхности резания и совпадающая с направлением главного движения. По ней рассчитываются мощность, затрачиваемая на резание, мощность электродвигателя и детали механизма главного движения станка;

P_x – осевая сила, или сила подачи, действующая параллельно оси заготовки в направлении, противоположном движению подачи. По ней, с учетом веса движущихся частей суппорта и сил трения на поверхностях направляющих станины от действия сил P_z и P_y , рассчитывается мощность, необходимая для осуществления движения подачи, а также детали коробки подач, фартука и упорные подшипники;

P_y – радиальная сила, направленная перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки. По ней рассчитывается станок на жесткость и радиальное давление на подшипники шпинделя.

Равнодействующая сила P (Н) представляет собой геометрическую сумму трех составляющих сил

$$\vec{P} = \vec{P}_z + \vec{P}_y + \vec{P}_x \quad (2)$$

и является диагональю параллелепипеда. Рассчитывается равнодействующая P (Н) по формуле

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}. \quad (3)$$

Бывают частные случаи разложения равнодействующей P только на две составляющие: P_z и P_y ; P_z и P_x (рис. 2).

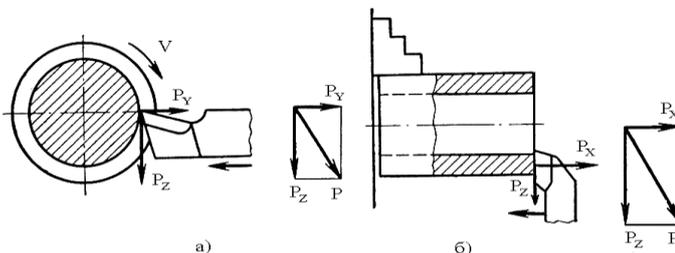


Рис. 2. Частные случаи разложения равнодействующей:
а – при отрезании (разрезании) резцом с режущей кромкой, параллельной оси заготовки; б – при резании трубы резцом с $\varphi = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$

Экспериментально установлено, что при точении конструкционных сталей и чугунов резцом с геометрическими параметрами $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ имеется примерно следующее соотношение между указанными в зависимости (3) составляющими силами:

$$P_z : P_x : P_y = 1 : (0,4 - 0,5) : (0,3 - 0,4) \approx 1 : 0,45 : 0,35.$$

Для вышеприведенного частного случая

$$P = \sqrt{P_z^2 + (0,45P_z^2) + (0,35P_z^2)} \approx 1,14P_z. \quad (4)$$

В действительности эти соотношения значительно колеблются в зависимости от ряда факторов, влияние которых можно представить в виде функции

$$P = f(t, S, V, \gamma, \alpha, \varphi, \varphi', \lambda, r, h_3, k_{охл}, M_{и}, M_3), \quad (5)$$

где t – глубина резания, мм; S – подача (скорость подачи), мм/об; V – скорость резания, м/мин; γ – передний угол, град; α – главный задний угол, град; φ – главный угол в плане, град; φ' – вспомогательный угол в плане, град; λ – угол наклона главной режущей кромки, град; r – радиус закругления вершины резца, мм; h_3 – износ резца, мм; $k_{охл}$ – фактор охлаждения или смазки в процессе резания; $M_{и}$ – характеристика качества материала инструмента; M_3 – характеристика качества обрабатываемой заготовки.

Из приведенного выражения видно, что сила резания является функцией многих переменных.

Это вызывает большую трудность при определении вида функции математическими методами, и поэтому до сих пор нет еще такого уравнения, которое бы полностью и строго учитывало все указанные выше факторы и основывалось бы на законах математики и физики.

Первые научные исследования сил резания были выполнены русским профессором К. А. Зворыкиным в 1892 г. После было проведено много исследований, но все еще не получено достаточного количества факторов, которые могли бы полностью обеспечить теоретическое решение приведенной выше функции. Однако на основе экспериментальных данных известно, как влияет изменение того или иного фактора резания на силу, а, зная влияние отдельных факторов, можно сделать обобщенные выводы для тех или других ограниченных условий и получить более простые формы уравнения зависимости сил резания от основных условий процесса резания металлов.

3. Приборы для измерения сил резания и их тарировка

Для измерения составляющих силы резания и изучения влияния на них различных факторов применяют специальные приборы – динамометры. Динамометры в зависимости от количества измеряемых составляющих бывают одно- (например, для силы P_z), двух- и трехкомпонентные (P_x , P_y , P_z). По принципу действия динамометры подразделяются на электрические, механические и гидравлические. Каждый динамометр состоит из устройства, служащего для закрепления резца и разложения силы резания на составляющие, датчиков для преобразования измеряемых составляющих сил резания в механическое перемещение, электрическую емкость, силу электрического тока или давления жидкости регистрирующего устройства.

Применяемые методы измерения сил основаны на использовании упругих деформаций датчиков под воздействием нагрузки и различных явлений (механических, гидравлических, пневматических, магнитных и электрических).

К динамометрам предъявляются следующие требования:

- надежность и экономичность эксплуатации, для чего рекомендуется избегать применения сложных и дорогостоящих усилителей;
- простота тарирования прибора при минимальных затратах времени на подготовку его к работе;
- возможность легкой установки различных диапазонов измеряемых нагрузок при сохранении достаточной чувствительности прибора, т. е. способности реагировать на малые изменения нагрузок;
- минимальные измерительные перемещения (т. е. минимально возможные сдвиг и деформация деталей, воспринимающих нагрузку) для сохранения практически неизменных условий резания – сечения стружки, геометрии инструмента и пр.;
- малая инерционность при измерении, определяемая поставленной задачей (например, для измерения истинных значений сил резания требуются приборы, способные регистрировать колебания нагрузок, изменяющихся до 500 раз в секунду; при этом собственная частота колебаний прибора должна быть пяти-, восьмикратная).

Сравнительная оценка различных электрических динамометров приведена в табл. 1. Положительной оценке того или иного свойства соответствует знак «+», а отрицательной – знак «-», отсутствию как положительных, так и отрицательных качеств отвечает знак «0».

Гидравлические динамометры просты по конструкции и в эксплуатации, но имеют значительную инерционность рычажно-поршневой системы, из-за чего показания отстают от быстропротекающих процессов и искажают картину изменения сил резания во времени и по величине. Кроме того, они малочувствительны.

Механические динамометры имеют те же недостатки, что и гидравлические, а поэтому, несмотря на простоту их конструкции и эксплуатации, широкого применения не получили.

Таблица 1. Сравнительная характеристика электрических динамометров

Методы измерения	Измерительное смещение	Размеры	Диапазон измерений	Точность	Подверженность помехам	Инерционность	Легкость тарирования	Загрязнения	Простота обслуживания
Пьезоэлектрический	+	+	+	+	0	++	-	--	--
Емкостный	+	-	+	+	0	++	+	-	-
Угольного сопротивления	+	+	+	+	0	++	0	+	++
Жидкостного сопротивления	+	+	+	0	0	0	0	+	+
Индуктивный	+	++	++	+	+	++	+	++	++
Магнитный	+	++	+	+	++	+	+	+	+
Тензометрический	+	++	+	+	++	+	+	+	++

Несмотря на вышеприведенные недостатки, учитывая простоту конструкции механических динамометров, эксплуатации, обслуживания и тарирования, для учебных целей целесообразно использовать однокомпонентный механический динамометр ДК-1. Он позволяет замерять величину только одной составляющей силы резания P_z и рассчитан на силу до 6000 Н.

Динамометр (рис. 3) устанавливается на верхнем суппорте токарного станка 1К62, вместо предварительно снятого резцедержателя, и закрепляется болтом, который проходит сквозь отверстие A . Корпус 3 динамометра выполнен таким образом, что державка 1, в которой закрепляется резец, оказывается соединенной с остальной частью динамометра посредством торсионных брусков 2 квадратного сечения.

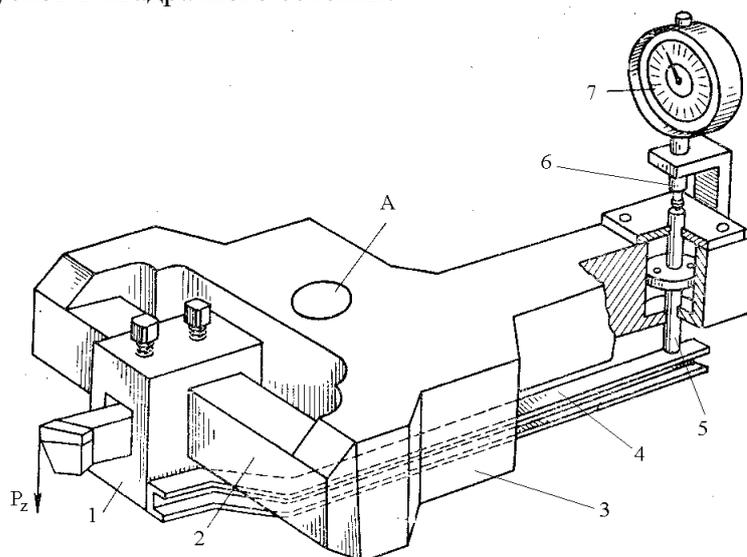


Рис. 3. Схема однокомпонентного динамометра ДК-1: 1 – державка; 2 – торсионные бруски; 3 – корпус; 4 – планка; 5 – стержень; 6 – ножка индикатора; 7 – шкала индикатора

Под действием тангенциальной составляющей силы P_z резец слегка наклоняется, закручивая торсионные бруски. При этом конец длинной планки 4, приваренной к державке 1, находящейся в нижней части прибора, поднимается, нажимая посредством стержня 5 на ножку индикатора 6. Перемещение ножки индикатора пропорционально деформации торсионных брусков и, следовательно, тангенциальной составляющей силы резания. Две другие составляющие силы резания P_y и P_x , изгибая торсионные бруски, вызывают перемещение планки 4 только в горизонтальной плоскости и на показания индикатора практически не влияют.

Для изоляции ножки индикатора от неизбежных колебаний планки 4 предусмотрено простое демпфирующее устройство, включающее насаженный на стержень 5 поршень с двумя малыми отверстиями, помещенный в закрытый, наполненный вязким маслом цилиндр в корпусе динамометра. При перемещении стержня вверх или вниз необходимо затратить энергию на выдавливание некоторого объема масла сквозь отверстия в поршне, тем самым значительно уменьшить передаваемые колебания.

Для установления величины показаний индикатора 7 (цены деления шкалы в ньютонах), полученных при исследовании процесса резания, динамометр следует тарировать. Тарирование обычно выполняется методом искусственного нагружения.

Сообщая прибору заранее известную нагрузку, устанавливают соответствующее этой нагрузке отклонение стрелки индикатора. Путем ряда последовательных нагружений получают соответствующий ряд показаний прибора, по которым строится тарировочный график.

Применительно к динамометру ДК-1 тарирование проводится в следующей последовательности. В державке 1 динамометра (см. рис. 3), установленного на токарном станке, закрепляется на месте резца тарировочный валик 2 (рис. 4) с вылетом l_t , равным вылету резца.

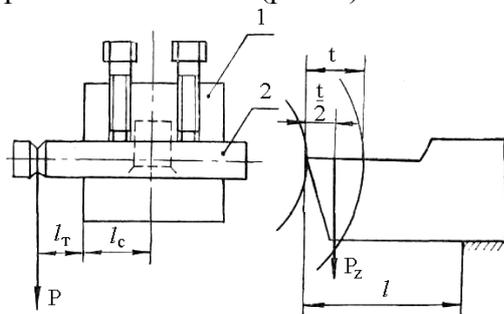


Рис. 4. Схема тарирования динамометра ДК-1

Стрелка индикатора поворотом циферблата устанавливается против нулевого деления. На тарировочный валик подвешивается груз массой 5 кг, действие которого на торсионные бруски аналогично действию силы в 49,05 Н (можно округлять данное значение до 50 Н). При этом стрелка индикатора отклоняется от нулевого положения на одно деление ($n_d = 1$). Цена деления K_d шкалы индикатора при измерении линейных величин равна 0,01 мм. В этом случае отклонением стрелки индикатора будет зафиксирована величина деформации (поворот) торсионных брусков с учетом подъема конца планки 4 (см. рис. 3) на величину Δh . При $n_d = 1$ подъем планки $\Delta h = 0,01$ мм. Если подвесить груз массой 10 кг (приблизительно 100 Н), стрелка индикатора отклонится на два деления – $\Delta h = 0,02$ мм и т. д.

Результаты тарирования динамометра заносятся в табл. 2, по которым строится график тарирования (рис. 5).

Таблица 2. Результаты тарирования динамометра ДК-1

Сила нагружения P_z , Н	Показания индикатора		Сила нагружения P_z , Н	Показания индикатора	
	n_d	Δh , мм		n_d	Δh , мм
50	1	0,01	250	5	0,05
100	2	0,02	300	6	0,06
150	3	0,03	350	7	0,07
200	4	0,04	400	8	0,08

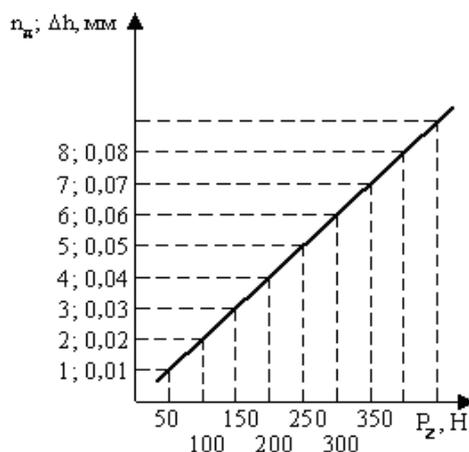


Рис. 5. График тарирования динамометра ДК-1

На оси абсцисс откладываются показания нагрузки тарировочного валика в ньютонах, а по оси ординат – величина перемещения конца планки 4 (см. рис. 3) в миллиметрах или соответствующие показания индикатора n_d . Соединив экспериментальные точки, получают зависимость показаний индикатора от сил нагружения.

Из табл. 2 и графика (см. рис. 5) видно, что цена одного деления K_d шкалы индикатора в единицах силы равна 49,05 Н (≈ 50 Н). Имея такой график, можно определить силу P_z , действующую на резец в процессе точения. Если, например, при резании стрелка индикатора показала отклонение на 6 делений от нулевого положения, тогда, согласно рис. 5, сила, действовавшая на резец, будет равна 294,30 Н (≈ 300 Н).

В тарировочном графике должна быть зафиксирована величина вылета l_t (см. рис. 4), от которого зависит результат тарирования. Следует отметить, что при вылете резца, равном l , и глубине резания t сила резания приложена на плече $l - t/2$. Если l_t равна $l - t/2$, то при вычислении силы резания можно пользоваться непосредственно зависимостью (6) или тарировочным графиком (см. рис. 5).

$$P_z = K_d n_d = 49,05 \cdot 6 = 294,30 (\approx 300 \text{ Н}). \quad (6)$$

Если l_t несколько отличается от $l - t/2$, то необходимо внести поправку и вычислить силу резания по следующей формуле (пренебрегая влиянием на величину поправки изгиба торсионных брусков):

$$P_z = \frac{l_c + l_t}{l_c + \left(l - \frac{t}{2}\right)} \cdot K_d \cdot n_d, \quad (7)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; K_d – цена одного деления индикатора, Н; n_d – показания индикатора (число делений); $l_c + l_t$ – расстояние от оси торсионных брусков до точки приложения силы резания, мм.

Перед началом работы следует убедиться в тщательности закрепления измерительного прибора на станке, так как при недостаточно прочном закреплении возникают вибрации резца, искажающие результаты испытаний. Следует также проверить закрепление обрабатываемой заготовки.

Во избежание вибраций в процессе резания следует применять резец с положительным передним углом и значительным углом в плане, располагать резец несколько выше центра, избегать очень малых подач, выбирать маловязкий и хорошо обрабатываемый материал заготовки.

4. Экспериментальное исследование зависимости тангенциальной силы P_z от глубины резания, подачи и скорости резания

Прежде чем приступить к исследованию изменения силы P_z в зависимости от режима точения, необходимо:

- а) указать марку материала заготовки и его механические характеристики;
- б) определить тип резца, размеры сечения его державки, марку и вид материала режущей части резца. Произвести измерение его геометрических элементов с помощью угломера ЛМТ и шаблона;
- в) установить вид и характер обработки.

Сведения по пунктам «а» и «в» задаются руководителем занятий. Результаты замеров и другие необходимые данные заносятся в отчет.

Экспериментальное исследование содержит три серии опытов: каждая серия включает по четыре опыта. В первой серии опытов заготовка обрабатывается с четырьмя различными глубинами резания (t_1, t_2, t_3, t_4), оставляя все другие факторы (подачу, скорость резания и др.) неизменными. Для каждого принятого при испытаниях значения глубины резания фиксируется показание индикатора n_d и заносится в табл. 3. Затем расчетным путем (см. формулу (6)) или по графику тарирования (см. рис. 5) определяется сила P_z и полученные данные также заносятся в табл. 3.

Во второй серии опытов заготовка обрабатывается при переменной подаче (S_1, S_2, S_3, S_4). Все же другие факторы (глубина и скорость резания и пр.) остаются постоянными. Фиксируемые для каждого значения подачи показания индикатора и определяемые величины силы P_z заносятся в табл. 3.

В третьей серии опытов обработка ведется при переменной скорости резания (V_1, V_2, V_3, V_4), а подача и глубина резания сохраняют свои значения постоянными. Полученные при этом результаты заносятся также в табл. 3.

4.1. Обработка опытных данных

Результаты исследования, представленные в табл. 3, позволяют судить о степени влияния каждого элемента режима резания (t, S, V) на силу P_z . Чтобы пользоваться таблицей на практике, для определения силы необходимо выполнить большое количество экспериментов с небольшими интервалами значений переменной.

Таблица 3. Результаты исследования тангенциальной составляющей силы резания при точении

Серия опытов	Номер опыта	Диаметр заготовки d , мм	Глубина резания t , мм	Подача S , мм/об	Частота вращения шпинделя V , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Показания индикатора		Сила P_z , Н	Значение коэффициента C_{Pz}	Показатель степени	$P_z = f(t, S, V)$
							число делений L_n	Δh , мм				
1-я $P_z = f(t)$	1	Const =	Const =	Const =	Const =	Const =						
	2											
	3											
	4											
2-я $P_z = f(S)$	1	Const =	Const =	Const =	Const =	Const =						
	2											
	3											
	4											
3-я $P_z = f(V)$	1	Const =	Const =	Const =	Const =	Const =						
	2											
	3											
	4											

Для получения формулы, описывающей связь между силой резания и переменными (t, S, V), могут применяться различные методы обработки экспериментальных данных (графический, графоаналитический, средних величин, наименьших квадратов). Анализ экспериментальных данных (см. табл. 3) показывает, что при изменении любого фактора сила резания монотонно возрастает или убывает. Эти зависимости хорошо отображаются кривыми параболического типа (рис. 6).

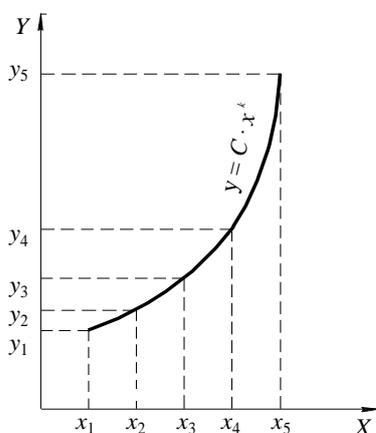


Рис. 6. График степенной функции в декартовых координатах

Они, как правило, описываются степенной функцией следующего вида:

$$Y = C \cdot x^k. \quad (8)$$

Нахождение составляющих степенной функции C и k удобно проводить, используя графоаналитический метод обработки результатов эксперимента. При этом используется двойная логарифмическая сетка координат, когда вместо декартовых координат по осям откладываются не сами величины X и Y , а их десятичные логарифмы.

Это подтверждается следующими выкладками. Прологарифмировав выражение (8), получим уравнение первой степени

$$\lg y = \lg C + k \cdot \lg x, \quad (9)$$

которое аналогично уравнению прямой линии, не проходящей через начало координат:

$$y = b + kx. \quad (10)$$

Это означает, что в двойной логарифмической системе координат степенная функция выражается прямой линией. Причем величина показателя степени k соответствует тангенсу угла α наклона прямой к положительному направлению оси абсцисс. Величина координаты C равна отрезку, отсекаемому прямой на оси ординат при переменной x , равной единице (рис. 7). Так как $\lg 1 = 0$, то второе слагаемое $k \cdot \lg x$ выражения (9) равно нулю. Тогда $\lg y = \lg C$, а $y = C$.

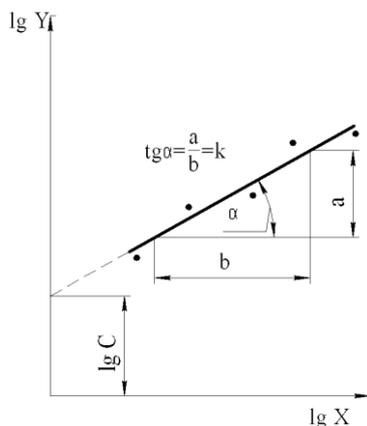


Рис. 7. График степенной функции в координатах с логарифмической шкалой

Таким образом, по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс и отрезку, отсекаемому на оси ординат, легко находится степенная функция y при некотором заданном значении аргумента x . Как видно, графоаналитический метод очень прост, но не обладает высокой точностью. Его недостатком является субъективность в проведении по нанесенным точкам прямой, которая равно удалена от всех опытных точек.

Графики (рис. 7) можно построить путем логарифмирования значений аргумента (t , S , V) и функции (P_z), откладывая логарифмы соответственно по оси абсцисс и ординат. Для построения таких графиков можно пользоваться специальной логарифмической бумагой, на которой нанесена двойная логарифмическая сетка, или построить с использованием персонального компьютера.

Описанный выше метод обработки опытных данных позволяет непосредственно перейти к установлению функциональной зависимости $P_z = f(t, S, V)$, пригодной для практического пользования при расчете составляющей силы резания.

Из протокола (см. табл. 3) результаты 1-й серии опытов наносят на двойную логарифмическую сетку (рис. 8).

Затем проводят прямую так, чтобы сумма расстояний от экспериментальных точек до нее была минимальной, т. е. наиболее близкой ко всем экспериментальным точкам. Это и есть графическое изображение искомой зависимости

$$P_z = C_{1P_z} \cdot t^{X_{P_z}}. \quad (11)$$

Таким же образом результаты 2-й и 3-й серий опытов наносятся на двойную логарифмическую сетку (рис. 9, а, б). Полученные линии представляют собой графическое изображение зависимостей:

$$P_z = C_{2P_z} \cdot S^{Y_{P_z}}; \quad (12)$$

$$P_z = C_{3P_z} \cdot V^{n_{P_z}}. \quad (13)$$

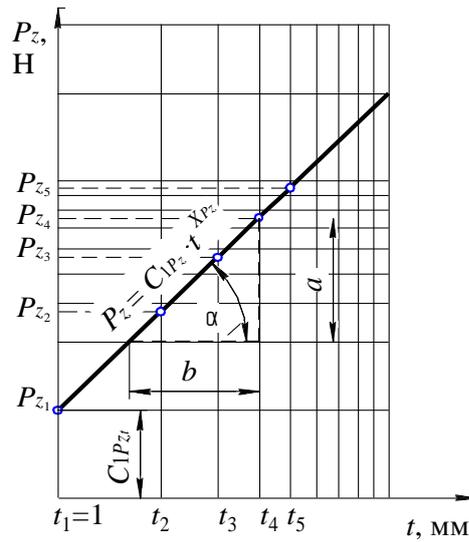


Рис. 8. График зависимости вертикальной силы от глубины резания

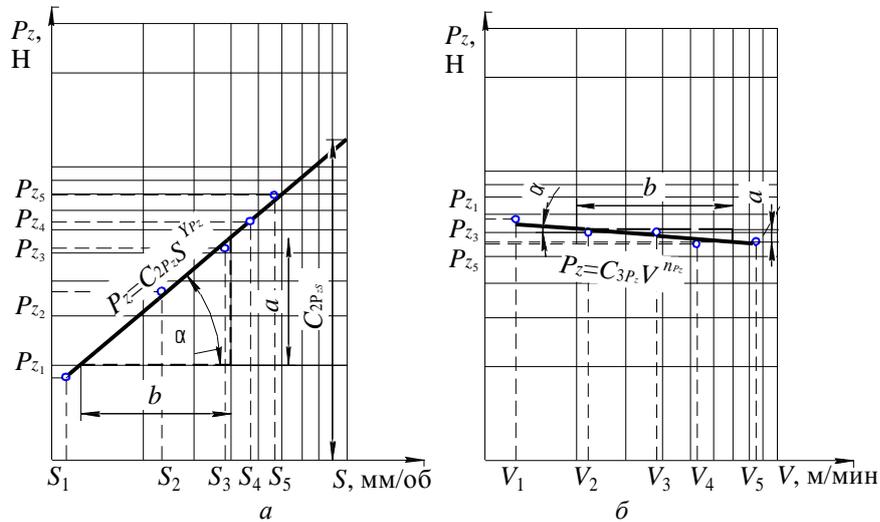


Рис. 9. Графики зависимости вертикальной составляющей силы от подачи (а) и скорости резания (б)

Для зависимости (13) $P_z = f(V)$ принят диапазон скоростей резания по ниспадающей ветви кривой, что соответствует скоростям резания для резцов, оснащенных пластинками из твердого сплава.

Показатели степеней при глубине резания, подаче и скорости резания определяют из рис. 8 и 9, измеряя масштабной линейкой величину катетов прямоугольных треугольников и подставляя их значения в следующие зависимости:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = a / b; \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = X_{P_z}. \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = a / b; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = Y_{P_z}. \quad (15)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = a / b; \quad \operatorname{tg} \alpha_3 = n_{P_z}. \quad (16)$$

Постоянные C_{1P_z} , C_{2P_z} , C_{3P_z} равны отрезкам, отсекаемым соответствующими прямыми на осях ординат при переменных t , S и V , равных единице. Определение постоянной C_{3P_z} по графику (рис. 9, б) затруднительно, так как на оси абсцисс точка для $V = 1$ м/мин выходит далеко за пределы чертежа. Поэтому C_{3P_z} определяется из зависимости (13) решением ее относительно C_{3P_z} :

$$C_{3P_z} = \frac{P_z}{V^{n_z}}. \quad (17)$$

Подстановкой в зависимость (17) значений V и P_z из любого опыта третьей серии с учетом ранее определенного показателя степени n_{P_z} находят C_{3P_z} .

Таким образом находятся частные функциональные зависимости:

$$P_{z1} = C_{1P_z} t; \quad (18)$$

$$P_{z2} = C_{2P_z} S; \quad (19)$$

$$P_{z3} = C_{3P_z} n, \quad (20)$$

по которым возможен расчет составляющей силы P_z по одному из элементов режима резания, так как конкретные численные значения показателей степеней и постоянных коэффициентов C_{P_z} определены ранее.

Однако больший интерес представляет определение P_z (Н) функцией обобщенной зависимости

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}}. \quad (21)$$

Значение коэффициента C_{P_z} может быть найдено решением i уравнения вида (21) относительно C_{P_z} :

$$C_{P_z} = \frac{P_z}{t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}}}. \quad (22)$$

В выражении (21) показатели степени X_{P_z} , Y_{P_z} , n_{P_z} определены ранее из построенных графиков (см. рис. 8 и 9) и зависимостей (14), (15), (16), а величины P_z , полученные при заданных значениях t , S и V , берутся из табл. 3. Коэффициент C_{P_z} является среднеарифметическим значением величин C_{1P_z} , C_{2P_z} , C_{3P_z} , ..., C_{iP_z} , т. е.

$$C_{P_z} = \frac{C_{1P_z} + C_{2P_z} + C_{3P_z} + \dots + C_{iP_z}}{i}. \quad (23)$$

Окончательная (обобщенная) формула для практического расчета силы P_z (при заданном обрабатываемом материале заготовки, геометрии, материале и износе резца, охлаждении и пр.) будет иметь следующий вид:

$$P_z = C_{P_z} \cdot t \cdot S \cdot V. \quad (24)$$

Аналогично можно получить формулы для расчета составляющих сил P_y и P_x . Следовательно, обработка результатов опытов сводится к получению цифровых данных для постоянной C_{P_z} и показателей степеней X_{P_z} , Y_{P_z} , n_{P_z} .

Применение графоаналитического метода определения цифровых данных для постоянной C_{P_z} и показателей степеней X_{P_z} , Y_{P_z} , n_{P_z} не обеспечивает высокую степень точности определения этих показателей. Помимо ошибки, возникающей при проведении опыта, возникают и объективные ошибки, обусловленные самим исследователем. Это и не совсем точное нанесение характерных точек на логарифмическую шкалу, и приближенное определение аппроксимирующей закономерности, и погрешности, связанные с определением параметров аппроксимирующей.

С целью исключения из эксперимента объективного влияния исследователя и повышения точности определения параметров как частных функциональных зависимостей, так и обобщенной, можно применять регрессионный анализ. Для этого целесообразно использовать вычислительную технику.

4.2. Статистическая обработка данных

После получения обобщенных зависимостей вышеизложенными способами проводится их статистическая проверка. Для этого из любого опыта с известной силой резания P_z (см. табл. 3) подставляются в обобщенные зависимости значения t , S и V и определяются расчетные значения силы резания P_{zp} . Полученные значения силы P_{zp} сравниваются с экспериментальным значением силы P_z .

Абсолютная ошибка (Н) определяется по формуле (25), а относительная ошибка (%) – по формуле (26):

$$\Delta P_z = P_{zp} - P_z; \quad (25)$$

$$B = \frac{\Delta P_z}{P_z} \cdot 100. \quad (26)$$

Изложенная методика обработки опытных данных применима к определению взаимосвязи между другими характеристиками процесса точения (температурой резания, износом и стойкостью резца, усадкой стружки и пр.).

Контрольные вопросы

1. Назовите силы, действующие на лезвие режущего инструмента.
2. На какие составляющие раскладывается сила резания?
3. Назовите факторы, влияющие на силу резания.
4. Какие приборы применяются для измерения силы резания?
5. Какие требования предъявляются к динамометрам?
6. Изложите устройство и принцип работы динамометра ДК-1.
7. Изложите порядок тарирования динамометра ДК-1.
8. Изложите сущность графоаналитического метода обработки данных при исследовании силы резания.
9. В чем заключается статистическая проверка полученных зависимостей?

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ ТОКАРНОГО СТАНКА НА ТОЧНОСТЬ

Цель работы. Изучение методов, норм точности и инструментов для проверки токарных станков на точность.

Оборудование рабочего места. Токарно-винторезный станок 1К62 или 1В62Г (нормальной точности). Индикатор с ценой деления 0,01 мм со стойкой. Микрометры 0-го класса с пределами измерений 25–50 и 50–75 мм. Цилиндрическая центровая оправка с измерительной поверхностью диаметром 50 мм, длиной $L = 1000$ мм. Короткая оправка, торцовая поверхность которой перпендикулярна к ее оси. Консольная оправка с цилиндрической измерительной поверхностью длиной $L = 300$ мм, диаметром $d \geq 32$ мм с коническим хвостовиком. Твердость поверхности оправок $HRC_3 \geq 52$, шероховатость $Ra \leq 0,32$ мкм.

1. Общие сведения

Согласно ГОСТ 8–82 «Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность» устанавливается пять классов точности металлорежущих станков, которые указываются в шифрах моделей станков и обозначаются в порядке возрастания точности буквами **Н, П, В, А, С** (соответственно нормальный, повышенный, высокий, особо высокий, особо точный) [1]. В шифрах моделей станков нормальной точности буква **Н** не ставится. Допуски при переходе от одной степени точности к другой принимаются по рядам предпочтительных чисел, построенных со знаменателем $\phi = 1,6$. Кроме того, с возрастанием габарита станка растет и величина допуска. Общая погрешность измерения для станков нормальной точности не должна превышать 20 % от величины допуска. Новые или капитально отремонтированные станки проходят полный контроль качества их изготовления или ремонта, который включает три вида проверок [1–7]: проверка геометрической точности; проверка жесткости; проверка в работе.

Геометрическая точность станка определяется проверкой точности взаиморасположения, перемещения и соотношения движения рабочих органов, несущих обрабатываемую заготовку и инструмент. Эти проверки проводятся без действия усилий. Перед испытанием на точность станок устанавливают на фундамент, стенд или другое жесткое, надежное основание на башмаках или клиньях (без затяжки фундаментных болтов) и выверяют по уровню в продольном и поперечном направлениях. Если точность выверки станка по уровню в ГОСТ 8–82 не указана, то определяемое по уровню отклонение не должно превышать 0,04 мм/м для станков нормальной точности и 0,03 мм/м для станков классов точности П, В и А [1, 3, 4, 5].

Жесткость станка характеризуется величиной деформации при действии определенной нагрузки в системе СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь).

Проверка станка в работе является комплексной. При этом контролируют отклонение формы обработанной на станке цилиндрической и торцовой поверхностей, а также точность шага нарезанной резьбы.

ГОСТ 18097–93 включает 17 проверок станков на точность, которые проводятся при изготовлении станков и после капитальных ремонтов (табл. 1).

Таблица 1. Перечень проверок станков на точность

Номер проверки	Содержание проверки
1	Прямолинейность продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости (распространяется на передний и задний суппорты)
2	Прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости (распространяется на задний и передний суппорты)
3	Одновысотность оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли (или оси вращения шпинделя) задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости
4	Параллельность перемещения задней бабки относительно перемещения суппорта
5	Радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя под патрон
6	Осевое биение шпинделя
7	Торцовое биение опорного буртика шпинделя
8	Радиальное биение конического отверстия шпинделя
9	Параллельность оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях
10	Параллельность продольного перемещения верхних салазок суппорта оси вращения шпинделя в вертикальной плоскости
11	Перпендикулярность перемещения поперечного суппорта к оси вращения шпинделя
12	Параллельность перемещения пиноли задней бабки перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях
13	Параллельность оси конического отверстия пиноли относительно перемещения суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях
14	Точность кинематической цепи от шпинделя до суппорта (ходового винта)
15	Осевое биение ходового винта
16	Радиальное биение конического отверстия пиноли задней бабки
17	Параллельность продольного перемещения заднего суппорта продольному перемещению переднего суппорта

При технических осмотрах выполняются пять проверок [4, 7] и производится опробование станка в работе.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Измерение отклонения от прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости проводится согласно схеме, представленной на рис. 1.

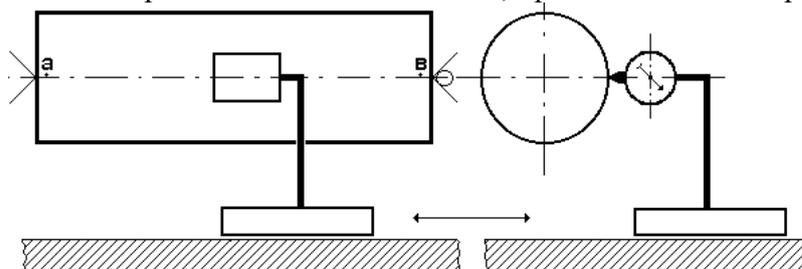


Рис. 1. Схема измерения отклонения от прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости

Методика измерения. В центрах передней и задней бабок устанавливается цилиндрическая оправка с измерительной поверхностью диаметром 50 мм, длиной $L = 1000$ мм. Резцедержатель должен быть расположен как можно ближе к оси центров станка. На суппорте (в резцедержателе) необходимо укрепить индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен перпендикулярно к ее оси.

Показания индикатора на левом (точка **а**) и правом (точка **в**) концах оправки должны быть одинаковыми, что достигается смещением задней бабки в поперечном направлении. В противном случае погрешность установки вычитают из результатов промежуточных замеров. Суппорт необходимо перемещать в продольном направлении на всю длину хода. Отклонение от прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости определяется, как наибольшая алгебраическая разность показаний индикатора. Отклонение

от прямолинейности вызывает отклонение профиля продольного сечения обработанной цилиндрической поверхности.

Для станков с наибольшей длиной перемещения суппорта от 800 до 1250 мм допустимое отклонение в сторону оси центров для класса точности Н составляет 0,02 мм, П – 0,012 мм, В – 0,008 мм. В процессе эксплуатации станка износ направляющих станины не должен превышать 0,2 мм. Результаты измерений отклонения от прямолинейности в горизонтальной плоскости заносятся в табл. 2, и на их основании делаются выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

Таблица 2. Результаты измерений отклонения от прямолинейности в горизонтальной плоскости

Номер измерения	Показания индикатора, мм			Наибольшая алгебраическая разность, мм
	Точка а	Точка в	Промежуточные замеры	
1				
2				
3				

Измерение отклонения прямолинейности продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости проводится согласно схеме, представленной на рис. 2.

Методика измерения. В центрах передней и задней бабок устанавливается цилиндрическая оправка с измерительной поверхностью диаметром 50 мм, длиной $L = 1000$ мм.

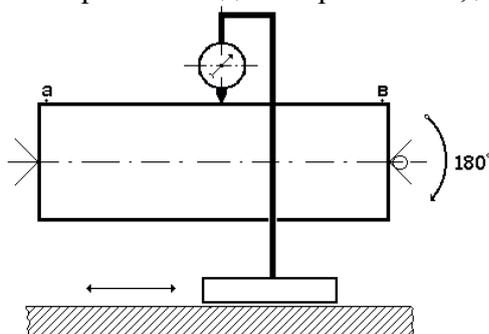


Рис. 2. Схема измерения отклонения от параллельности оси вращения центров передней и задней бабок продольному перемещению суппорта в вертикальной плоскости

На суппорте устанавливается индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался измерительной поверхности оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно верхней образующей. Суппорт необходимо перемещать на всю длину оправки. После первого измерения шпиндель вместе с оправкой поворачивают на 180° для исключения влияния биения на результат.

Отклонение определяется, как среднее арифметическое значение двух указанных измерений, каждое из которых определяется алгебраической разностью показаний индикатора на концах оправки. Допустимое отклонение для станков класса точности Н составляет 0,03 мм, П – 0,02 мм, В – 0,012 мм, причем ось отверстия пиноли может быть лишь выше оси вращения шпинделя.

Результаты измерений отклонения от прямолинейности продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости заносятся в табл. 3, и на их основании делаются выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

Таблица 3. Результаты измерений отклонения от прямолинейности продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости

Номер измерения	Показания индикатора, мм		Алгебраическая разность, мм	Результат расчета (среднеарифметическое отклонение), мм
	Точка а	Точка в		
1				
2				

Измерение радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон проводится согласно схеме, представленной на рис. 3.

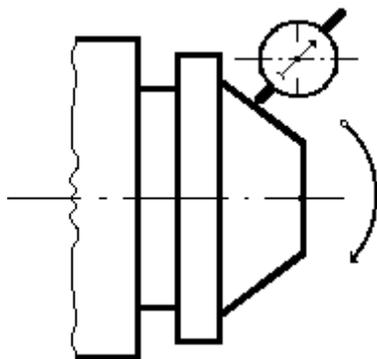


Рис. 3. Схема измерения радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон

Методика измерения. На неподвижной части станка крепится индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей. Шпиндель приводится во вращение. При проведении измерения шпиндель должен сделать не менее двух оборотов. Отклонение определяется, как наибольшая алгебраическая разность показаний индикатора.

Допуск на радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя для станков с наибольшим диаметром обрабатываемой детали 250–800 мм не должен превышать: для станков класса точности Н – 0,01 мм, П – 0,007 мм, В – 0,005 мм.

Проверка точности трехкулачкового самоцентрирующегося патрона, как отдельного узла, проводится согласно ГОСТ 1654–81. Допуск радиального биения оправки, зажатой в кулачках патрона, составляет 0,02 мм.

Результаты измерений радиального биения центрирующей поверхности передней бабки под патрон заносятся в табл. 4, и на их основании делаются выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

Таблица 4. Результаты замеров радиального биения центрирующей поверхности передней бабки под патрон

Номер измерения	Показания индикатора, мм		Наибольшая алгебраическая разность, мм
	+	–	
1			
2			
3			

Измерение осевого биения шпинделя передней бабки проводится согласно схеме, представленной на рис. 4.

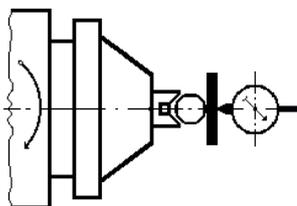


Рис. 4. Схема измерения осевого биения шпинделя передней бабки

Методика измерения. В коническое отверстие шпинделя вставляется короткая зацентрированная оправка, торцовая поверхность которой перпендикулярна к ее оси. На неподвижной части станка закрепляется индикатор, измерительный стержень которого касается торца оправки у его центра. Шпиндель приводится во вращение, и с индикатора снимаются показания. Для станков с наибольшим диаметром обрабатываемой детали до 400 мм осевое биение шпинделя не должно превышать: для класса точности Н – 0,008 мм, П – 0,005 мм, В – 0,003 мм.

Измерение отклонения от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях проводится согласно схеме, представленной на рис. 5.

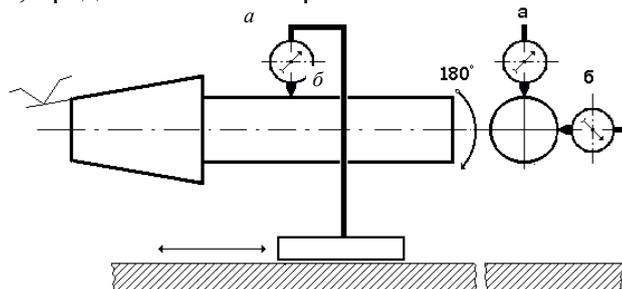


Рис. 5. Схема измерения отклонения от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта: *a* – в вертикальной плоскости; *б* – в горизонтальной плоскости

Методика измерения. В коническое отверстие шпинделя вставляется консольная оправка с цилиндрической измерительной поверхностью длиной $L = 300$ мм.

На суппорте (в резцедержателе) крепится индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался измерительной поверхности оправки и был направлен перпендикулярно к ее оси, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Суппорт перемещается в продольном направлении на длину $L = 200$ мм. После первого измерения шпиндель поворачивается на 180° и проводится второй замер. Отклонение определяется, как среднее арифметическое значение результатов двух указанных измерений, каждое из которых определяется алгебраической разностью показаний индикатора.

Для станков с наибольшим диаметром обрабатываемого изделия от 250 до 400 мм отклонение в вертикальной и горизонтальной плоскостях составляет соответственно на длине 200 мм от шпинделя: для станков класса точности Н – 0,016 и 0,008 мм, П – 0,010 и 0,005 мм, В – 0,006 и 0,003 мм. Причем допустимы отклонения в вертикальной плоскости только вверх, а в горизонтальной плоскости только в направлении резца суппорта.

Результаты измерений отклонения от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях заносятся в табл. 5 и на их основании делаются выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

Таблица 5. Результаты измерений отклонения от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Номер измерения	Последовательность измерений	Показания индикатора (максимальное отклонение, мм)		Алгебраическая разность показания индикатора, мм	Среднеарифметическое отклонение, мм
		+	-		
1	1				
	2				
2	1				
	2				

Проверка станка на точность обработки проводится согласно схеме (рис. 6).

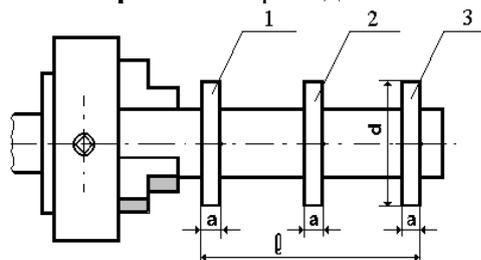


Рис. 6. Схема для проверки обеспечения токарным станком точности геометрической формы: 1, 2, 3 – пояски; *a* – ширина пояска; *d* – диаметр пояска

Методика измерения. Стальной валик с поясками 1, 2 и 3 шириной $a = 20$ мм, диаметром $d \geq \frac{1}{8}D$ и длиной $L = \frac{1}{2}D$ (где D – наибольший диаметр обрабатываемой детали; при $D = 400$ мм, $d \geq 50$ мм и $L \approx 200$ мм) зажимается в кулачках самоцентрирующегося патрона (без центра задней бабки), точатся пояски в два прохода: при черновом переходе $t = 1$ мм, $S \approx 0,4$ мм/об., $n = 120$ мин⁻¹; при чистовом переходе $t = 0,3$ мм, $S \approx 0,1$ мм/об., $n = 600$ мин⁻¹. Измерение диаметров производят микрометром.

Овальность цилиндрической поверхности определяется по максимальной разности взаимно перпендикулярных диаметров (см. рис. 6), берется наибольшее значение

$$\Delta_1 = d_{\max} - d_{\min}; \Delta_n = d_{\max} - d_{\min}.$$

Для токарных станков с наибольшим диаметром обрабатываемой детали 250...400 мм при длине $L = 200$ мм допускается овальность: для станков класса точности Н – 0,008 мм, П – 0,005 мм, В – 0,003 мм.

Конусность цилиндрической поверхности в абсолютных величинах определяется по максимальной разности диаметров, расположенных в одной осевой плоскости:

$$K = d_1 - d_3.$$

Допустимая конусность составляет: для станков класса точности Н – 0,008 мм, П – 0,012 мм, В – 0,008 мм.

Результаты проверки обеспечения токарным станком точности геометрической формы заносятся в табл. 6, и на их основании делаются выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

Таблица 6. Результаты проверки обеспечения токарным станком точности геометрической формы

Номер измерения	Овальность			Конусность
	$d_1 - d_2$	$d_1 - d_2$	$d_1 - d_2$	$d_1 - d_3$
1				
2				

3. Содержание отчета

1. Приведите схемы проверок и изложите методику выполнения каждой из них.
2. Запишите результаты каждой проверки, сравните их с допустимыми отклонениями и сделайте выводы о соответствии станка требованиям ГОСТов.

3 РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 ВОПРОСЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Вопросы к модулю № 1 по дисциплине «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»

1. Классификация металлов.
2. Строение металлов.
3. Свойства металлов и сплавов.
4. Понятия: сплав, компонент, фаза, механические смеси, твердые растворы, химические соединения.
5. Кристаллизация металлов и сплавов.
6. Экспериментальное построение диаграмм состояния двойных сплавов.
7. Правила фаз и отрезков.
8. Диаграмма состояния сплавов с механической смесью.
9. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
10. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов.
11. Диаграмма состояния сплавов с химическим соединением.
12. Кривая охлаждения железа.
13. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.
14. Диаграмма состояния сплавов железо - углерод.
15. Кривая охлаждения сплава, содержащего 0,45% С.
16. Кривая охлаждения сплава, содержащего 0,8% С.
17. Классификация сталей.
18. Маркировка углеродистых сталей.
19. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства углеродистых сталей.
20. Маркировка, микроструктура и свойства серого чугуна.
21. Получение ковкого чугуна, маркировка.
22. Получение высокопрочного чугуна, маркировка.
23. Образование аустенита при нагреве стали У8.
24. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У8.
25. Перлитное превращение при охлаждении аустенита стали У8.
26. Мартенситное превращение при охлаждении аустенита.
27. Отжиг и нормализация стали.
28. Закалка и отпуск стали.
29. Закалка стали токами высокой частоты.
30. Особенности термообработки чугунов.

Вопросы к модулю № 2 по дисциплине «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»

1. Цементация стали.
2. Азотирование.
3. Цианирование.
4. Диффузионное легирование.
5. Поверхностное упрочнение металлов наклепом.
6. Термомеханическая обработка стали.
7. Примеры термической и химико-термической обработки деталей.
8. Медь и ее сплавы.
9. Алюминий и его сплавы.
10. Антифрикционные сплавы.

11. Припои.
12. Коррозионностойкие материалы.
13. Классификация порошковых сплавов.
14. Технология изготовления порошковых сплавов.
15. Виды пластмасс, применяемых в сельскохозяйственной технике.
16. Технология изготовления пластмассовых деталей.
17. Резина и резинотехнические изделия, применяемые в сельскохозяйственной технике.
18. Древесные и асбестовые материалы.
19. Metallургические и машиностроительное производство Республики Беларусь.
20. Роль отечественных и зарубежных ученых в развитии учения о технологии конструкционных материалов и материаловедении.
21. Устройство доменной печи и ее работа.
22. Производство стали в конвертерах.
23. Получение стали в мартеновских печах.
24. Получение стали в электропечах.
25. Прогрессивные способы получения стали

**Вопросы к модулю № 3 по дисциплине
«Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»**

1. Технологическая схема изготовления отливок.
2. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах.
3. Прогрессивные способы изготовления отливок.
4. Особенности получения отливок из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов.
5. Физико-механические основы обработки металлов давлением.
6. Прокатка металлов.
7. Ковка металлов.
8. Объемная и листовая штамповка.
9. Волочение, прессование.
10. Работы ученых в области сварки.
11. Газовая сварка металлов, сварочное пламя.
12. Присадочные материалы и флюсы для газовой сварки.
13. Оборудование для газовой сварки.
14. Виды электродуговой сварки плавлением.
15. Источники тока для электродуговой сварки.
16. Электродная проволока, обмазки, электроды
17. Способы сварки давлением.
18. Прогрессивные способы сварки и наплавки.
19. Особенности сварки различных металлов и сплавов.
20. Режимы и техника ручной электродуговой сварки.
21. Резка металлов и сплавов.
22. Пайка металлов и сплавов.
23. Контроль качества сварных соединений.

3.2 ВОПРОСЫ ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

**Вопросы к экзамену по дисциплине
«Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»
1 семестр**

1. Природные богатства Республики Беларусь.
2. Metallургические и машиностроительное производство Республики Беларусь.
3. Роль отечественных и зарубежных ученых в развитии учения о технологии конструкционных материалов и материаловедении.

4. Устройство доменной печи и ее работа.
5. Производство стали в конвертерах.
6. Получение стали в мартеновских печах.
7. Получение стали в электропечах.
8. Прогрессивные способы получения стали.
9. Классификация металлов.
10. Строение металлов.
11. Свойства металлов и сплавов.
12. Понятия: сплав, компонент, фаза, механические смеси, твердые растворы, химические соединения.
13. Кристаллизация металлов и сплавов.
15. Экспериментальное построение диаграмм состояния двойных сплавов.
16. Правила фаз и отрезков,
17. Диаграмма состояния сплавов с механической смесью.
18. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
19. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов.
20. Диаграмма состояния сплавов с химическим соединением.
21. Кривая охлаждения железа,
22. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов,
23. Диаграмма состояния сплавов железо - углерод. I
24. Кривая охлаждения сплава, содержащего 0,45% С,
25. Кривая охлаждения сплава, содержащего 0,8% С.
26. Классификация сталей.
27. Маркировка углеродистых сталей.
28. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства углеродистых сталей.
29. Основы теории легирования стали.
30. Конструкционные легированные стали.
31. Инструментальные легированные стали.
32. Быстрорежущие стали.
33. Нержавеющие стали.
34. Жаропрочные и жаростойкие стали,
35. Износостойкие и графитизированные стали.
36. Электротехнические стали и сплавы.
37. Сплавы с особыми тепловыми свойствами.
38. Маркировка, микроструктура и свойства серого чугуна.
39. Графитизация чугуна.
40. Получение ковкого чугуна, маркировка.
41. Получение высокопрочного чугуна, маркировка.
42. Особенности термообработки чугунов. °
43. Образование аустенита при нагреве стали У8.
44. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У8.
45. Перлитное превращение при охлаждении аустенита стали У8.
46. Мартенситное превращение при охлаждении аустенита.
47. Отжиг и нормализация стали.
48. Закалка и отпуск стали.
49. Закалка стали токами высокой частоты.
50. Цементация стали.
51. Азотирование.
52. Цианирование.
53. Диффузионное легирование.
54. Поверхностное упрочнение металлов наклепом.
55. Термомеханическая обработка стали.

56. Примеры термической и химико-термической обработки деталей.
57. Медь и ее сплавы.
58. Алюминий и его сплавы.
59. Антифрикционные сплавы.
60. Припой.
61. Коррозионностойкие материалы.
62. Классификация порошковых сплавов.
63. Технология изготовления порошковых сплавов.
64. Виды пластмасс, применяемых в сельскохозяйственной технике.
65. Технология изготовления пластмассовых деталей.
66. Резина и резинотехнические изделия, применяемые в сельскохозяйственной технике.
67. Древесные и асбестовые материалы.
68. Технологическая схема изготовления отливок,
69. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах.
70. Прогрессивные способы изготовления отливок.
71. Особенности получения отливок из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов.
72. Физико-механические основы обработки металлов давлением.
73. Прокатка металлов.
74. Ковка металлов,
75. Объемная и листовая штамповка.
76. Волочение, прессование.
77. Работы ученых в области сварки,
78. Газовая сварка металлов, сварочное пламя.
79. Присадочные материалы и флюсы для газовой сварки.
80. Оборудование для газовой сварки.
81. Виды электродуговой сварки плавлением.
82. Источники тока для электродуговой сварки.
83. Электродная проволока, обмазки, электроды
84. Способы сварки давлением.
85. Прогрессивные способы сварки и наплавки.
86. Особенности сварки различных металлов и сплавов.
87. Режимы и техника ручной электродуговой сварки.
88. Резка металлов и сплавов.
89. Пайка металлов и сплавов.
90. Контроль качества сварных соединений.

**Вопросы к зачету по дисциплине
«Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов»
2 семестр**

1. Роль и значение обработки резанием. Исторический обзор развития учения о резании металлов.
2. Требования к инструментальным материалам.
3. Углеродистые и легированные инструментальные стали и их область применения.
4. Быстрорежущие инструментальные стали и их область применения.
5. Металлокерамические твердые сплавы и их область применения.
6. Минералокерамические инструментальные материалы и их область применения.
7. Сверхтвердые инструментальные материалы и их область применения.
8. Алмазы, их применение в обработке резанием.
9. Условные обозначения элементов кинематических схем станков.
10. Типовые механизмы (клиноременная, цепная, зубчатая и червячные передачи) их характеристика.

11. Механизмы преобразующие вращательное движение в поступательное.
 12. Механизмы прерывистых перемещений.
 13. Механизмы бесступенчатого регулирования скоростей, их достоинства и недостатки.
 14. Основные элементы гидропривода и их назначение.
 15. Поверхности обрабатываемых заготовок и движения на металлорежущих станках.
- Элементы режима резания.
16. Конструктивные элементы токарного резца. Системы координат и координатные плоскости (P_y , P_n , P_z и P_r).
 17. Основные углы резца в статической и кинематической системах координат.
 18. Особенности обработки наплавленных и закаленных поверхностей.
 19. Геометрия токарного проходного резца.
 20. Формы передней поверхности резца. Оптимальные численные значения углов проходного резца.
 21. Сечение срезаемого слоя. Площадь сечения. Физические и производственные параметры.
 22. Процесс образования стружки по Тиме. Виды стружки. Влияние режимов резания и свойств обрабатываемого материала на характер стружки.
 23. Усадка стружки. Зависимость усадки от переднего угла α у толщины срезаемого слоя α , угла в плане ϕ , скорости резания γ .
 24. Наклеп. Влияние условий резания на глубину и степень наклепа.
 25. Нарост. Его влияние на процесс резания. Факторы наростообразования (u , v и др.). Меры борьбы с наростом.
 26. Тепловые явления при резании, факторы, влияющие на температуру в зоне резания. Уравнение теплового баланса.
 27. Смазочно-охлаждающие жидкости. Компоненты СОЖ. Способы подведения СОЖ, их характеристика.
 28. Износ режущего инструмента. Критерии износа. Виды износа.
 29. Стойкость инструмента. Факторы, влияющие на стойкость.
 30. Скорость резания при точении. Анализ формулы для расчета скорости резания.
 31. Сила резания при точении и ее составляющие.
 32. Факторы, влияющие на силы резания. Определение сил резания (зависимости).
 33. Мощность и крутящий момент резания при точении.
 34. Основное технологическое время при токарной обработке.
 35. Элементы режима резания. Методика их назначения при точении.
 36. Качество обработанной поверхности. Обрабатываемость конструкционных материалов.
 37. Понятие о технологическом процессе механической обработки детали резанием и его элементах (операция, переход, рабочий ход).
 38. Штучное кал ькуляционное время и ее составляющие.
 39. Понятие о базах и их выбор.
 40. Основные типы производств, их характеристика.
 41. Припуски на обработку.
 42. Точность и погрешность механической обработки. Причины вызывающие погрешность.
 43. Сущность экономической точности механической обработки.
 44. Устройство и геометрия спирального сверла.
 45. Элементы режима резания при сверлении, зенкеровании, развертывании.
 46. Площадь поперечного сечения среза при сверлении. Физические явления происходящие при сверлении.
 47. Скорость резания при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании и ее выбор.

48. Силы резания, крутящий момент, мощность потребная на сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание.
49. Основное время при сверлении, зенкеровании, развертывании.
50. Износ сверла, критерии его затупления. Способы улучшения геометрии сверла.
51. Инструмент для обработки отверстий. Припуски на обработку.
52. Устройство и назначение вертикально-сверлильного станка. Приспособления к сверлильным станкам.
53. Основные типы токарных станков и их назначение.
54. Устройство и назначение токарно-винторезного станка. Принадлежности к токарно-винторезным станкам.
55. Обработка конических и эксцентрических поверхностей точением.
56. Типы резьб. Технология их нарезания на токарном станке.
57. Особенности процесса строгания и долбления. Резцы (материал и конструкция).
58. Устройство поперечно-строгального станка. Принцип работы кулисного и гидравлического привода.
59. Силы резания и мощность при строгании.
60. Скорость резания при строгании и факторы влияющие на ее величину.
61. Основное технологическое время при строгании.
62. Конструкция и геометрия протяжек, прошивок.
63. Работы, выполняемые на протяжных станках и методы (схемы) протягивания.
64. Классификация фрез и геометрия их зубьев.
65. Схемы фрезерования их характеристика.
66. Элементы режима резания при фрезеровании.
67. Силы резания и мощность при фрезеровании и факторы, влияющие на их величину.
68. Скорость резания при фрезеровании и факторы, влияющие на ее величину.
69. Основное технологическое время при фрезеровании.
70. Основные методы нарезания зубчатых колес и их сравнение.
71. Устройство и назначение универсального горизонтально-фрезерного станка.
72. Устройство делительной головки и ее настройка на непосредственное и простое деление.
73. Настройка делительной головки на дифференциальное деление.
74. Отделка зубьев зубчатых колес (шевингование, шлифование, притирка, обкатка).
75. Сущность круглого наружного шлифования, его способы.
76. Способы шлифования их сущность. Применяемые шлифовальные станки.
77. Силы резания и мощность при шлифовании и факторы, влияющие на их величину.
78. Скорость резания при шлифовании и факторы, влияющие на ее величину.
79. Типы абразивных материалов и их характеристика.
80. Абразивные инструменты и их характеристика (марка, зернистость, твердость, связка, структура, вид).
81. Установка и правка абразивных кругов.
82. Сущность процесса и область применения притирки и суперфиниша.
83. Сущность процесса и область применения хонингования.
84. Сущность процесса полирования, виды полирования и их характеристика.
85. Сущность методов обработки поверхностей деталей пластическим деформированием.
86. Обработка резанием древесины и пластмасс.
87. Контроль точности станков.
88. Фундаменты станков и уход за станками.
89. Система технического обслуживания и ремонта станков.
90. Электроискровая и электроимпульсная обработка металлов.
91. Лучевая и ультразвуковая обработка металлов.

3.4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебная деятельность оценивается по десятибалльной шкале с использованием следующих критериев:

0 баллов – нет ответов на поставленные вопросы варианта или даны ответы на непоставленные вопросы;

1 балл – попытка дать ответ, из которой следует, что отвечающий знает, на вопросы какой дисциплины он отвечает;

2 балла – неполные и неточные ответы без пояснений и с существенными ошибками;

3 балла – неполные и неточные ответы без пояснений и с ошибками в пояснениях;

4 балла – несистематизированные, неполные ответы по всем вопросам варианта, пояснения отсутствуют или даны с ошибками;

5 баллов – несистематизированные, неполные или содержащие ошибки ответы на все вопросы, пояснения неполные;

6 баллов – систематизированные, но неполные ответы на все вопросы, изложение ответов неглубокое, имеются незначительные ошибки;

7 баллов – систематизированные, принципиально правильные, но недостаточно полные ответы на все вопросы, пояснения ответов правильные но неглубокие, имеются незначительные ошибки;

8 баллов – систематизированные правильные и полные ответы на все вопросы, могут присутствовать несущественные неточности, даются правильные, но недостаточно полные и точные пояснения;

9 баллов – систематизированные, глубокие, правильные и полные ответы по всем вопросам, логически верное изложение ответов, даются исчерпывающие пояснения;

10 баллов – систематизированные, глубокие и полные ответы по всем вопросам, логически верное изложение ответов, даются исчерпывающие пояснения, приводятся сведения сверх программного материала или делаются оригинальные обобщения.

4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

УТВЕРЖДАЮ
И.о. ректора академии


А.В. Колмыков

« 27 »

2019 г.

Регистрационный № УД-М-23-19/42.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных
и водохозяйственных работ

2019 г.

Учебная программа составлена соответствии с типовым учебным планом по специальности № К 74-1-014 / пр-тип. от 12.07.2018 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

В. И. КОЦУБА, заведующий кафедрой технического сервиса и общеинженерных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент.

Л. И. САВЕНОК, доцент кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И. В. ДУБЕНЬ, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии учреждения образования «Барановичский государственный университет», кандидат технических наук, доцент;

А. Е. МАРКЕВИЧ, главный инженер ООО «Ремком», кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой технического сервиса и общеинженерных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (протокол № 11 от 19 марта 2019 г.);

Методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (протокол № 7 от 19 марта 2019 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (протокол № 7 от 27 марта 2019 г.);

Ответственный за редакцию: В.И. Коцуба

Ответственный за выпуск: В.И. Коцуба

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов» относится к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей инженерного профиля в т. ч. и для специальности

1-74 06 04 «Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ».

При изучении учебной дисциплины студенты получают требуемую общеинженерную, технологическую подготовку, основы знаний, необходимых при работе на производстве. Для успешного решения многих практических задач необходимо знать современные материалы, их свойства, способы получения и обработки, технологические приемы управления этими свойствами и рациональные области применения.

Высокий уровень знаний специалиста в области материаловедения и производственных технологий обеспечит действенные подходы к решению имеющихся проблем в части снижения затрат на проведение мелиоративных и водохозяйственных работ и повышения эффективности производства, разработке качественно новых конкурентно способных технологий на основе использования современных материалов.

Учебная дисциплина состоит из трех разделов: «Материаловедение», «Горячая обработка металлов» и «Обработка конструкционных материалов резанием».

По дисциплине предусматривается проведение учебной практики по технологии конструкционных материалов (в учебно-производственных мастерских УО БГСХА) продолжительностью 1 неделя.

Цель учебной дисциплины – подготовка будущего инженера со знаниями строения и свойств конструкционных материалов, физико-химических основ процессов изготовления заготовок и деталей методами литья, обработки давлением, резанием и сваркой, способов их упрочнения термической обработкой, наплавкой и напылением.

Задачи учебной дисциплины – изучение:

- строения и свойств металлов и сплавов;
- основ металлургических процессов производства чугуна, стали и цветных металлов;
- основ теории и практики термической обработки;
- технологии получения отливок различными методами литья;
- получения заготовок или деталей обработкой давлением;
- процессов получения неразъемных соединений различными методами сварки и пайки;
- основ упрочнения и восстановления деталей наплавкой и напылением;
- процессов резания металлов и сплавов, оборудования, режущего инструмента;
- основ технологии машиностроения.

Учебная дисциплина относится к модулю 1.7 «Материаловедение и технология конструкционных материалов» государственного компонента.

При изучении учебной дисциплины «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов» у студентов должна быть сформирована базовая профессиональная компетенция (БПК-10): быть способным обоснованно выбирать материал и способы его обработки для получения свойств, обеспечивающих высокую надежность детали.

В результате изучения учебной дисциплины студенты должны знать строение, свойства и маркировку конструкционных материалов, быть способными использовать методы термической обработки, получения заготовок или деталей обработкой давлением, получения неразъемных соединений методами сварки и пайки, упрочнения и восстановления деталей наплавкой и напылением, резания металлов и сплавов на металлорежущих станках, проектировать технологические процессы обработки деталей.

Знания, полученные при изучении учебной дисциплины будут использованы в дальнейшем для изучения учебных дисциплин: «Тракторы и автомобили», «Машины для земляных работ», «Мелиоративные машины», «Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов», «Сельскохозяйственные машины», «Детали машин и основы

конструирования», «Подъемно-транспортные машины», «Ремонт мелиоративных и строительных машин», при выполнении курсовых работ и проектов, дипломного проекта.

Общее количество часов и количество аудиторных часов, отводимое на изучение учебной дисциплины.

Форма получения высшего образования – дневная.

На изучение учебной дисциплины согласно учебному плану по специальности 1-74 06 04 «Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ» дневной формы получения высшего образования, всего отводится 244 часа (трудоемкость изучаемой дисциплины составляет 6 зачетных единиц), в том числе 126 часов аудиторных, из них лекции – 54 часа, лабораторные занятия – 72 часа. На самостоятельную работу отводится 118 часов. Учебная дисциплина преподается на 1 курсе в 1 и 2 семестрах. Рекомендуемая форма текущей аттестации – экзамен (1 семестр) и зачет (2 семестр).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

История развития материаловедения как науки о материалах. Роль ученых и производственников в развитии материаловедения. Значение материаловедения в практике инженера по техническому обеспечению мелиоративных и водохозяйственных работ.

1.1. Атомно - кристаллическое строение металлов и сплавов.

Теория сплавов

Классификация металлов. Их атомно-кристаллическое строение. Типы кристаллических решеток. Типы связей в твердых телах. Строение реальных кристаллов. Дефекты кристаллического строения металлов и сплавов. Анизотропия.

Термодинамические основы фазовых превращений. Термические кривые охлаждения и нагрева металлов и сплавов. Аллотропия. Влияние скорости охлаждения, примесей и других факторов на процесс кристаллизации. Образование зерен и дендритов.

Механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.

Понятия системы, сплава, компонента, фазы. Механические смеси, твердые растворы, химические соединения. Процессы кристаллизации сплавов. Особенности фазовых превращений в твердом состоянии.

Построение диаграмм состояния сплавов экспериментальным путем. Кривые охлаждения и диаграммы состояния бинарных сплавов. Правила фаз и отрезков.

Диаграммы состояния сплавов с механическими смесями, твердыми растворами, химическими соединениями, аллотропическими превращениями. Связь между диаграммами состояния сплавов и их свойствами по Н.С. Курнакову.

1.2. Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны

Работы ученых по изучению диаграммы состояния сплавов железо-цементит.

Железо и его свойства. Кривая охлаждения чистого железа. Аллотропические формы железа и их свойства. Углерод, цементит и их свойства.

Диаграмма состояния сплавов железо-цементит (стабильная и метастабильная). Фазовый состав, структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их свойства. Кривые охлаждения железоуглеродистых сплавов. Применение правил фаз и отрезков. Практическое применение диаграммы.

Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка углеродистых сталей, их применение в мелиоративном строительстве, производстве мелиоративных и строительных машин и их ремонте.

Основы теории легирования стали. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства стали. Классификация и маркировка легированных сталей. Стали с особыми свойствами (специального назначения): автоматные, рессорно-пружинные, износостойкие, шарикоподшипниковые, коррозионно-стойкие, жаропрочные и др. Применение легированных сталей в изготовлении мелиоративно-строительной техники.

Влияние химического состава и скорости охлаждения на структуру и свойства чугуна. Графитизация чугуна. Белые, серые, ковкие и высокопрочные чугуны, их получение, структура, маркировка, свойства, применение. Легированные чугуны.

1.3. Основы теории и технологии термической обработки

Сущность термообработки. Классификация видов термообработки. Образование аустенита при нагреве стали. Действительная и наследственная величина зерна. Кинетика превращений переохлажденного аустенита. Перлитное, мартенситное, промежуточное превращения. Диаграмма изотермического превращения аустенита, ее теоретическое и практическое значение. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении. Превращения при отпуске.

Нагрев при термической обработке, защитные атмосферы. Отжиг, нормализация, закалка стали, их разновидности. Выбор охлаждающих сред при термообработке. Прокаливаемость стали. Дефекты, возникающие при закалке. Обработка стали холодом. Отпуск стали. Термомеханическая обработка стали. Влияние термической обработки на структуру и свойства стали.

Особенности термической обработки легированных сталей. Термическая обработка чугунов. Влияние формы и размеров деталей и инструментов, нагревательных устройств на результаты термической обработки.

Методы поверхностной закалки стали: с индукционным нагревом, газопламенным, с нагревом лазерным лучом и др.

Примеры термической обработки инструментов и деталей мелиоративной техники.

Сущность различных видов химико-термической обработки. Теоретические основы химико-термической обработки. Цементация, азотирование, цианирование, сульфацианирование, диффузное легирование. Марки сталей для различных видов химико-термической обработки.

Примеры химико-термической обработки инструментов и деталей мелиоративной техники.

1.4. Инструментальные материалы. Цветные металлы и сплавы

Инструментальные углеродистые и легированные стали для режущих, измерительных инструментов, штампов и их термообработка.

Быстрорежущие стали. Их маркировка, особенности термической обработки.

Твердые сплавы, сверхтвердые материалы, их маркировка, получение, состав и применение.

Медь и ее сплавы: латуни и бронзы. Маркировка, термическая обработка и применение медных сплавов.

Алюминий и его сплавы. Деформируемые и литейные сплавы алюминия. Маркировка, термическая обработка и применение алюминиевых сплавов.

Антифрикционные сплавы на основе меди, алюминия, свинца и олова. Требования к антифрикционным сплавам, их структура, маркировка, применение.

Припои, их маркировка, состав, свойства и применение.

Магний и его сплавы. Новые сплавы цветных металлов. Применение цветных металлов и сплавов в мелиоративном машиностроении и ремонтном производстве.

1.5 Порошковые и неметаллические материалы

Технология получения порошковых материалов: получение порошков, формование и спекание. Конструкционные, антифрикционные, фрикционные, пористые, тугоплавкие, электротехнические и другие порошковые материалы и сплавы, их свойства и применение.

Полимерные материалы, их свойства. Термопластичные и терморезистивные полимеры и пластмассы на их основе. Состав пластмасс: полимеры, наполнители, красители, пластификаторы, стабилизаторы и др. Методы переработки пластмасс в изделия.

Резина, ее виды и свойства. Изготовление изделий из резины. Древесные, асбестовые, силикатные и текстильные материалы и изделия из них.

Применение неметаллических материалов в мелиоративной технике и ремонтном производстве.

Зависимость прочности металлов и сплавов от числа дефектов. Монокристаллы. Нитевидные кристаллы. Композиционные материалы. Аморфные металлы и сплавы, их строение, свойства и применение.

Применение новейших достижений науки о материалах в автотракторном, и мелиоративном машиностроении.

2. ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

2.1. Основы металлургии и литейное производство

Значение металлургии в жизни общества и развитии агропромышленного комплекса. Краткий исторический обзор металлургического производства. Общая характеристика металлургического производства в Республике Беларусь и других странах.

Производство чугуна. Исходные материалы доменного процесса. Устройство доменной печи. Основные физико-химические процессы при получении чугуна. Продукты доменного производства. Передельные, литейные, специальные чугуны и ферросплавы. Технико-экономические показатели. Методы интенсификации доменного производства. Другие способы получения чугуна и ферросплавов.

Производство стали. Классификация и сущность технологических процессов получения стали в различных печах и устройствах: конвертерах, мартеновских и электропечах. Прямое восстановление железа и его перспективы. Методы повышения качества выплавляемой стали: обработка синтетическим шлаком, вакуумирование, электрошлаковый переплав и др. Способы разлива стали. Непрерывная разливка. Строение слитка спокойной и кипящей стали.

Сущность процессов получения меди, алюминия и титана.

Сущность литейного производства. Краткий исторический обзор развития литейного производства, роль ученых. Значение литья для сельскохозяйственного и мелиоративного машиностроения и в практике инженера мелиоративного и водохозяйственного производства.

Классификация способов получения отливок. Общие технологические схемы получения отливок.

Технологическая схема получения отливок в разовых песчано-глинистых формах. Модельный комплект. Формовочные материалы и смеси, их виды, назначение и свойства. Приготовление формовочных и стержневых смесей.

Изготовление форм. Ручная и машинная формовка. Литниковая система, ее назначение, устройство. Назначение, конструкция, изготовление, отделка и сушка стержней. Сборка литейных форм и их подготовка к заливке.

Литейные сплавы: серые чугуны, стали, медные, алюминиевые, магниевые, титановые и другие сплавы. Свойства литейных сплавов: температура плавления и заливки, жидкотекучесть, усадка, ликвация.

Плавильные печи и агрегаты. Шихтовые материалы для плавки при получении различных сплавов. Заливка литейных форм. Выбивка, очистка, обрубка, зачистка и термообработка отливок.

Особенности технологии получения отливок из серых, ковких и высокопрочных чугунов, сталей, медных, алюминиевых, магниевых, титановых и других сплавов.

Прогрессивные способы литья: в металлические формы, под давлением, центробежное, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям и др. Материалы форм, технология их изготовления, подготовка к заливке. Применение прогрессивных способов литья для получения отливок из различных сплавов. Преимущества и недостатки различных способов литья отливок различными способами.

Литейное производство и экология. Техника безопасности в литейном производстве.

2.2. Обработка металлов давлением

Сущность обработки металлов давлением и ее значение в практике инженера по техническому обеспечению мелиоративных и водохозяйственных работ.

Теоретические основы обработки металлов давлением. Упругая и пластическая деформации. Наклеп и рекристаллизация. Использование наклепа для повышения некоторых механических свойств деталей дробеструйной обработкой, обкаткой, раскаткой, чеканкой.

Холодная и горячая обработка металлов и сплавов давлением. Влияние температуры нагрева и химического состава деформируемых материалов и сплавов на их пластичность. Характеристика различных металлов и сплавов по обрабатываемости давлением.

Температурный интервал горячей обработки металлов и сплавов давлением. Нагревательные печи и устройства. Режимы нагрева. Контроль температуры нагрева заготовок и регулирование теплового режима. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металлов и сплавов.

Виды обработки металлов давлением. Сущность процесса прокатки. Продольная, поперечная и поперечно-винтовая прокатка. Устройство и классификация прокатных станков. Рабочие валки и их калибровка. Технология производства основных видов проката. Сущность изготовления бесшовных и сварных труб, периодического проката и гнутых профилей.

Сущность процессаковки. Ручная и машинная ковка. Основные операцииковки, применяемое оборудование, приспособления, инструменты, технология, применение. Разработка технологического процессаковки. Припуски, напуски, допуски на поковки. Разработка эскиза поковки и определение размеров исходной заготовки. Технологияковки слесарного, кузнечного инструмента и типовых поковок для сельскохозяйственного производства.

Сущность объемной и листовой штамповки, применяемое оборудование. Штамповка в открытых и закрытых штампах. Конструкция и материалы штампов для холодной и горячей штамповки. Основные операции объемной и листовой штамповки, ее применение.

Сущность волочения. Применяемое оборудование, технология, продукция, применение.

Сущность прессования. Прямое и обратное прессование. Применяемое оборудование, технология, продукция, применение.

Прогрессивные способы обработки металлов давлением: специальные виды прокатки,ковки и штамповки, накатка зубчатых колес, холодная высадка и др.

2.3. Сварочное производство

Сущность сварки и ее значение для машиностроения и эксплуатации мелиоративной и строительной техники. История возникновения, развития и совершенствования сварки. Классификация видов сварки.

Физические, химические и металлургические процессы при сварке плавлением. Структура и свойства сварного шва и зоны термического влияния. Возникновение сварочных напряжений, деформаций и трещин, меры их предупреждения и устранения. Подготовка кромок для сварных швов. Классификация сварных швов и соединений, условные обозначения на чертежах.

Сущность процесса дуговой сварки. Дуговая сварка по методу Н.Н. Бенардоса и Н.Г.Славянова. Электрическая сварочная дуга и ее свойства. Особенности горения дуги при постоянном и переменном токе. Основные законы переноса металла с электрода в сварочную ванну. Источники сварочного тока. Электроды, их классификация и маркировка по ГОСТу. Технология ручной электродуговой сварки.

Дуговая сварка под флюсом. Сварочные материалы и флюсы. Оборудование и технология механизированной и автоматической сварки под флюсом.

Дуговая сварка в защитных газах. Сварочные материалы и виды защитных газов. Оборудование и технология сварки.

Плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная сварка.

Газовая сварка. Оборудование, аппаратура, приспособления, сварочные материалы и флюсы для газовой сварки. Сварочное пламя и его характеристика. Технология газовой сварки.

Термическая резка металлов и сплавов. Сущность ацетилено-кислородной резки. Оборудование, аппаратура и режимы. Кислородно-флюсовая резка. Электродуговая резка металлов и сплавов.

Термомеханическая и механическая сварка. Электроконтактная сварка: точечная, шовная, рельефная, стыковая. Оборудование для электроконтактной сварки и режимы технологического процесса. Применение электроконтактной сварки.

Сущность и применение холодной контактной сварки, трением, ультразвуковой и диффузионной.

Свариваемость различных металлов и сплавов. Влияние химического состава стали на ее свариваемость. Выбор вида и технологии сварки различных сталей. Сварка чугуна. Сварка меди и ее сплавов. Сварка алюминия и его сплавов. Сварка тугоплавких металлов и сплавов.

Наружные и внутренние дефекты сварных швов. Виды контроля качества сварных швов и соединений. Способы предупреждения и устранения дефектов.

Наплавка. Наплавочные материалы, флюсы и защитные атмосферы. Способы наплавки. Техника наплавки различных поверхностей. Прогрессивные способы наплавки: намораживанием из расплава, индукционная порошковой шихтой, плазменная. Плазменное и газоплазменное напыление. Упрочнение и восстановление деталей мелиоративной и водохозяйственной техники сваркой и наплавкой.

Сущность сварки пластмасс. Способы сварки.

Безопасность труда при сварочных работах. Гигиена труда и промышленная санитария при сварке, резке, наплавке и пайке металлов. Защита от поражения электрическим током, лучами сварочной дуги и от ожогов. Противопожарные мероприятия.

3. ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

Исторический обзор развития учения о резании металлов. Совершенствование станков, инструментов и инструментальных материалов. Значение обработки резанием в практике инженера, обеспечивающего мелиоративные и водохозяйственные процессы.

3.1. Сущность процесса резания и его основные элементы

(на примере токарной обработки)

Материалы для изготовления режущих инструментов. Требования к инструментальным материалам. Характеристика инструментальных материалов. Основные виды обработки ме-

таллов резанием. Клин – основная форма режущей части инструмента. Поверхности обрабатываемых заготовок. Главное и вспомогательное движения на металлорежущих станках. Конструктивные элементы токарного резца. Системы координат и координатные плоскости. Геометрические параметры лезвия токарного резца в каждой системе координат. Назначение углов лезвия резца и их численные значения. Элементы режима резания при точении. Площадь среза и объем снятой стружки при точении

Процесс образования стружки. Классификация стружек. Влияние режимов резания и свойств обрабатываемого материала на вид получаемой стружки. Явления, сопровождающие процесс резания металлов (усадка стружки, упрочнение металла, нарост). Деформации при резании пластичных материалов.

Тепловые явления в процессе резания и их влияние на точность обработки, качество поверхности и режущую способность инструмента. Измерение температуры в зоне резания.

Износ режущего инструмента. Виды и критерии износа. Влияние износа инструментов на качество обрабатываемой поверхности. Стойкость режущего инструмента и ее связь с производительностью резания. Смазочно-охлаждающие жидкости, их подвод в зону резания и влияние на обработку.

Вибрации при резании металлов. Качество обработанной поверхности. Основные критерии оценки шероховатости обработанной поверхности. Влияние элементов резания на шероховатость поверхности.

Сила резания и ее составляющие (на примере точения). Расчет силы резания. Факторы, влияющие на силу резания. Скорость резания и стойкость инструмента при точении и ее влияние на процесс резания. Мощность и крутящий момент резания при точении. Методика назначения режима резания при точении. Проверка выбранного режима. Основное (машинное) время. Расчет режимов резания на ЭВМ. Производительность работы при точении и ее повышение. Обрабатываемость материалов после закалки, наплавки, осталивания.

3.2. Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация

Слесарная обработка (*тема изучается в период прохождения учебной практики по технологии конструкционных материалов в учебных мастерских*).

Организация и оборудование рабочего места слесаря. Основные операции и приемы слесарной обработки. Разметка, инструмент и приспособления. Рубка, инструмент. Резка, инструмент. Правка и гибка. Клепка и чеканка. Опиливание, напильники. Шабрение, инструмент. Припуски. Контроль и качество шабрения. Притирка. Пайка. Лужение. Жестяницкие работы. Механизация слесарных работ.

Классификация металлорежущих станков. Кинематические схемы и условные обозначения их элементов. Передатки ременные, цепные, зубчатые, червячные, реечные, винтовые, их характеристика.

Механизмы ступенчатого и бесступенчатого регулирования. Коробка скоростей. Ряды частот вращения и подачи станков. Механизм с вытяжной шпонкой. Храповой механизм. Кулисный механизм. Механизмы прерывистых перемещений, реверсивные, суммирующие механизмы. Приводы бесступенчатого регулирования частот вращения и подачи (механические, электрические, гидравлические). Кинематические цепи и их анализ.

Типы токарных станков, их характеристика. Устройство токарно-винторезного станка. Механизмы главного и вспомогательных движений. Кинематическая схема токарного станка. Анализ кинематических цепей.

Типы токарных резцов, их заточка. Принадлежности к токарным станкам. Работы, выполняемые на токарных станках (точение цилиндрических, конических, эксцентричных поверхностей, торцов, расточка отверстий, нарезание однозаходных и многозаходных резьб и т.д.). Нарезание резьб повышенной точности.

Точность и шероховатость поверхности при точении.

Понятие о станках с программным управлением.

Особенности резания при сверлении. Схемы и элементы режимов резания при сверлении, зенкерования, развертывании. Силы резания и крутящий момент при сверлении. Машинное (основное) время при сверлении. Методика назначения режимов резания.

Типы сверлильных станков, их характеристика. Работы, выполняемые на сверлильных станках, способы крепления деталей, инструмента, применяемые приспособления. Вертикально- и радиально-сверлильный станки, их основные узлы и назначение. Режущий инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, зенковки, цековки, развертки), их конструктивные и геометрические параметры. Точность и шероховатость поверхностей, обрабатываемых ими. Заточка режущего инструмента.

Особенности процесса резания при строгании и долблении. Схемы и элементы режима резания. Строгальные и долбежные резцы.

Основное (машинное) время при строгании. Выбор режима резания при строгании. Типы строгальных станков: поперечно- и продольно-строгальные станки. Определение чисел двойных ходов и подач.

Долбежные станки. Работы, выполняемые на строгальных и долбежных станках, применяемые приспособления. Точность и шероховатость поверхности при строгании.

Обработка протягиванием. Конструкция протяжек и их геометрические параметры. Работы, выполняемые на протяжных станках. Горизонтально-протяжной станок. Точность обработки и шероховатость поверхности. Типы протягивания. Понятие о наружном протягивании и прошивке отверстий.

Сущность фрезерования. Виды обрабатываемых поверхностей и типы фрез. Геометрические параметры режущей части фрез. Элементы режима резания при фрезеровании. Методы фрезерования: попутное, встречное. Силы резания и мощность при фрезеровании. Скорость резания и стойкость фрез. Основное время. Назначение режима резания.

Типы фрезерных станков, их характеристика. Общий вид универсального горизонтального (вертикального) фрезерного станка, его основные узлы, их назначение.

Работы, связанные с применением делительной головки. Настройка делительной головки на непосредственное, простое, дифференциальное деление и на фрезерование винтовых канавок.

Схемы и способы нарезания зубчатых колес (шестерен). Применяемые инструменты. Основные элементы режимов резания при зубонарезании. Отделка зубьев шестерен и ее применение. Понятие о нарезании конических шестерен. Понятие о накатывании зубчатых колес. Применяемый инструмент. Методы и схемы зубонарезания.

Типы зубообрабатывающих и зубонарезных станков, их краткая характеристика.

Сущность и назначение абразивной обработки деталей.

Схемы шлифования, их характеристика.

Типы шлифовальных станков. Элементы режима резания при круглом наружном шлифовании в центрах. Силы резания и мощность. Основное машинное время. Выбор режима резания при шлифовании.

Устройство одного из универсальных шлифовальных станков, его основные узлы, их назначение и принцип действия.

Абразивный инструмент: материал, зернистость, твердость, связка, структура, форма и маркировка. Выбор шлифовальных кругов, их испытания, балансировка и правка.

Абразивный инструмент из сверхтвердых материалов, его характеристика и маркировка.

Хонингование, суперфиниширование. Понятие о притирке и полировании. Применение. Точность и шероховатость поверхности при различных методах отделки. Заточные станки и работа на них. Техника безопасности при работе на шлифовальных и заточных станках.

Особенности механической обработки резанием пластмасс и других неметаллических материалов (применяемый инструмент, геометрия лезвия инструмента, режимы резания, оснастка). Применение специальных станков, СОЖ.

Сущность методов обработки деталей пластическим деформированием. Обработка шариками, роликами. Дорнирование. Выглаживание. Шероховатость поверхности и точность обработки.

Фундаменты для станков, монтаж станков. Эксплуатация и уход за станками. Система технических уходов и ремонта. Контроль точности и нормы точности станков. Проверка токарного станка на точность. Техника безопасности при работе на металлорежущих станках.

Сущность и особенности электроискровой, электроимпульсной, анодно-механической и ультразвуковой обработок. Понятие об обработке материалов лазерами, электронным лучом и другими способами. Применение, производительность и точность обработки.

Понятие о механизации и автоматизации. Основные направления автоматизации и механизации механической обработки деталей. Принципы автоматизации станков с использованием систем программного управления. Понятие об автоматических линиях и комплексной автоматизации производства.

3.3. Основы технологии машиностроения

Производственный и технологический процессы. Элементы технологического процесса: операция, установка, позиция, переход, рабочий ход (проход).

Основные типы производства. Концентрация и дифференциация технологического процесса.

Виды заготовок. Понятие о выборе заготовки в зависимости от формы материала детали и экономической целесообразности. Припуски на обработку и их определение.

Базы и их выбор. Экономическая и достижимая точность обработки.

Исходные данные для проектирования технологического процесса механической обработки. Основные понятия о составлении маршрутной и операционной технологий механической обработки деталей резанием. Принцип выбора последовательности операций и переходов при обработке поверхностей деталей. Технологическая документация и правила ее заполнения при механической обработке детали резанием по ЕСТД. Методика и последовательность выбора операционных режимов резания.

Техническая норма времени и ее структура. Норма выработки, расчётно-техническое нормирование. Техничко-экономическое значение обоснованных норм выработки. Мероприятия, направленные на повышение производительности труда.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма получения высшего образования: дневная (полная)

№ п/п	Название разделов, тем	Всего аудиторных	Количество аудиторных часов			Количество часов СР	Формы контроля знаний
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1-й семестр							
1	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	40	20	20		38	Модуль
1.1	Атомно-кристаллическое строение металлов и сплавов. Теория сплавов	11	5	6		10	Сдача работ
1.2	Железоуглеродистые сплавы. Легированные стали. Чугуны	10	4	6		10	Сдача работ
1.3	Основы теории и технологии термической обработки	9	5	4		8	Сдача работ
1.4	Инструментальные материалы Цветные металлы и сплавы	7	3	4		6	Сдача работ
1.5	Порошковые и неметаллические материалы	3	3			4	Контр. работа
2	ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА	32	16	16		30	Модуль
2.1	Основы металлургии и литейное производство	10	6	4		10	Сдача работ
2.2	Обработка металлов давлением	6	4	2		6	Сдача работ
2.3	Сварочное производство	16	6	10		14	Сдача работ
	Всего 1-й семестр	72	36	36		68	Экзамен
2-й семестр							
3	ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ	54	18	36		50	Модуль
3.1	Сущность процесса резания и его основные элементы (на примере токарной обработки)	14	8	6		14	Сдача работ
3.2	Обработка деталей различными видами резания. Режущий инструмент, станки и их эксплуатация	30	8	22		26	Сдача работ
3.3	Основы технологии машиностроения	10	2	8		10	Сдача работ
	Всего 2-й семестр	54	18	36		50	Зачет
	ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ	126	54	72		118	

4 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Перечень лабораторных занятий

Раздел «Материаловедение»

1. Свойства материалов.
2. Определение твердости металлов.
3. Анализ диаграммы состояния сплавов железо-цементит.
4. Маркировка и применение сталей и чугунов.
5. Цветные металлы и сплавы.
6. Термический анализ. Построение диаграммы состояния сплавов цинк-олово.
7. Изучение равновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей и чугунов.
8. Термическая обработка углеродистых сталей.
9. Изучение неравновесных микроструктур и свойств углеродистых и легированных сталей.
10. Инструментальные материалы.

Раздел «Горячая обработка металлов»

11. Изготовление разовой литейной формы по разъемной модели.
12. Холодная и горячая обработка металлов давлением
13. Оборудование электродуговой сварки
14. Оборудование электродуговой сварки
15. Построение вольт-амперных характеристики сварочной дуги и источника сварочного тока
16. Методика проектирования технологического процесса сварки.

Раздел «Обработка материалов резанием»

17. Типы, конструкция и назначение резцов. Замер геометрических параметров.
18. Типы, конструкция и назначение многолезвийных режущих инструментов Замер геометрических параметров.
19. Устройство, кинематика и настройка делительных головок.
20. Абразивные материалы и инструменты.
21. Установка и правка абразивных кругов.
22. Заточные станки и заточка инструментов.
23. Электрофизические способы обработки деталей.
24. Устройство, назначение, кинематика и настройки токарно-винторезного станка.
25. Устройство, назначение, кинематика станков 2A125 и 7307ГТ.
26. Исследование влияния режима обработки на вертикальную составляющую силы резания при точении.
27. Фрезерные и зубофрезерные станки. Настройка станка 6Н81 на фрезерование зубчатого колеса с винтовым зубом.
28. Проверка токарного станка на точность.
29. Устройство, настройка шлифовальных станков.
30. Методика разработки маршрутной и операционной технологии изготовления несложной детали.

4.2 Примерный перечень расчетно-графических работ

1. Выбор материала деталей машин и разработка технологического процесса их термической обработки.
2. Проектирование технологического процесса изготовления кузнечной поковки.
3. Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки.
4. Проектирование технологического процесса механической обработки детали.

4.3 Методы (технологии) обучения

Изучение дисциплины «Материаловедение. Основы технологии конструкционных материалов» предполагает посещение лекций, лабораторных занятий и самостоятельную работу студентов.

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения учебной дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- компетентностный подход, реализуемый на лекциях, лабораторных занятиях и при самостоятельной работе;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализация творческого подхода, реализуемые на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе;
- проектные технологии, используемые при выполнении конкретных заданий на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе.
- модульно-рейтинговая система оценка знаний, реализуемая на лабораторных занятиях.

4.4 Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Объем самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине должен соответствовать реальному бюджету времени обучающегося, выделяемого на данный вид работы.

Самостоятельная работа может быть организована как самообразование вне аудитории в удобное для студента время или как контролируемая преподавателем работа, обычно во время дежурства преподавателя на кафедре (при этом преподаватель оказывает методическую помощь студентам, проводит индивидуальные консультации).

Время, отведенное на самостоятельную работу, может использоваться для изучения основной и дополнительной литературы; выполнения типовых расчетов; выполнения исследовательских и творческих заданий; подготовку сообщений, тематических докладов, рефератов, презентаций; составления обзора научной (научно-технической) литературы по заданной теме.

Контроль качества самостоятельной работы осуществляется в рамках контрольных мероприятий по учебной дисциплине.

Для эффективной организации самостоятельной работы необходимо наличие учебной, справочной, методической литературы и ее перечня; учебно-методического комплекса, в том числе электронного; наглядных пособий, мультимедийных, видеоматериалов; заданий, тестов.

4.5 Перечень рекомендуемых средств диагностики (контроля знаний)

Диагностирование знаний и компетенций студента (контроль знаний) осуществляется следующим образом. При выполнении лабораторных расчетно-графических работ студенты защищают каждую работу.

Формой контроля изучения теоретического курса является зачет и экзамен, а для текущего контроля – сдача модулей в течение семестра.

4.6. Критерии оценок результатов учебной деятельности

Учебная деятельность оценивается по десятибалльной шкале с использованием следующих критериев:

0 баллов – нет ответов на поставленные вопросы варианта;

1 балл – попытка дать ответ, из которой следует, что отвечающий знает, на вопросы какой дисциплины он отвечает;

2 балла – неполные и неточные ответы без пояснений и с существенными ошибками;

3 балла – неполные и неточные ответы без пояснений и с ошибками в пояснениях;

4 балла – неполные ответы по всем вопросам варианта, пояснения отсутствуют или даны с ошибками;

5 баллов – не систематизированные и неполные ответы, содержащие ошибки, пояснения неполные;

6 баллов – систематизированные, но неполные ответы на вопросы, изложение ответов неглубокое, имеются незначительные ошибки;

7 баллов – систематизированные, принципиально правильные, но недостаточно полные ответы на все вопросы, пояснения ответов правильные но неглубокие, имеются незначительные ошибки;

8 баллов – систематизированные правильные и полные ответы на все вопросы, могут присутствовать несущественные неточности, даются правильные, но недостаточно полные и точные пояснения;

9 баллов – систематизированные, глубокие, правильные и полные ответы по всем вопросам, логически верное изложение ответов, даются исчерпывающие пояснения;

10 баллов – систематизированные, глубокие и полные ответы по всем вопросам, логически верное изложение ответов, даются исчерпывающие пояснения, приводятся сведения сверхпрограммного материала или делаются оригинальные обобщения.

4.7. Литература

Основная

1. Дегтярев, М.Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / М.Г. Дегтярев. – М.: Колос, 2007. – 358 с.
2. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов: учеб. пособие / ред.: В.А. Оськин, В.Н. Байкалова. – М.: КолосС, 2007. – 318 с.
3. Оськин, В.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – М.: КолосС, 2007 – Кн. 1. – 447 с.
4. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов [и др.]; ред. Г.П. Фетисов. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2006. – 862 с.
5. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.Ф. Карпенков [и др.]; ред. Н.М. Щербакова. – М.: КолосС, 2006 – Кн. 2. – 305 с.
6. Материаловедение: учебник / А.М. Адашкин [и др.]; ред. Ю.М. Соломенцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 456 с.
7. Технология конструкционных материалов: учебник / О.С. Комаров [и др.]; ред. О.С. Комаров. – Минск: Новое знание, 2005. – 559 с.
8. Технология конструкционных материалов: учебник / А.М. Дальский [и др.]; ред. А.М. Дальский. – 6-е изд., испр. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.
9. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов [и др.]; ред. Г.П. Фетисов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 862 с.
10. Савенок, Л.И. Обработка заготовок деталей машин резанием. (Проектирование технологического процесса): учеб. пособие / Л.И. Савенок. – Горки: БГСХА, 2004. – 124 с.

Дополнительная

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Словарь терминов: учеб. пособие / В.А. Оськин, В.Ф. Карпенков, В.В. Стрельцов; ред. В.А. Оськин. – М.: КолосС, 2007. – 55 с.
2. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.В. Синюхин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 287 с.
3. Пейсахов, А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для студентов немашиностроительных специальностей / А.М. Пейсахов, А.М. Кучер. – 3-е изд. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2005. – 410 с.
4. Федосов, С.А. Основы технологии сварки: учебное пособие / С.А. Федосов, И.Э. Оськин. – М.: Машиностроение, 2011. – 125 с.
5. Калиновский, В.Р. Технологии горячей обработки металлов: учеб. пособие / В.Р. Калиновский, В.М. Капщевич, А.Ф. Ильющенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 352 с.
6. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов: учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Ефремов. – Минск: БГАТУ, 2008. – 644 с.
7. Ящерицын, П.И. Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2007. – 512 с.
8. Фельдштейн, Е.Э. Режущий инструмент: учеб. пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич, М.И. Михайлов. – Минск: Новое знание, 2007. – 400 с.
9. Режущий инструмент. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В.И. Шагун [и др.]; ред. В.И. Шагун. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 191 с.
10. Быковский, О.Г. Справочник сварщика / О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков. – М.: Машиностроение, 2011. – 336 с.

11. Банников, Е.А. Справочник фрезеровщика: справочное издание / Е.А. Банников. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 320 с.
12. Сварка. Резка. Контроль. В 2-х т.: справочник / Н. П. Алешин [и др.]; ред.: Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев. – М.: Машиностроение, 2004 – Т. 1. – 624 с.
13. Сварка. Резка. Контроль. В 2-х т.: справочник / Н.П. Алешин [и др.]; ред.: Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев. – М.: Машиностроение, 2004 – Т. 2. – 480 с.
14. Энциклопедический справочник термиста-технолога. В 3-х томах. – Москва: Наука и технологии, 2004. – 1704 с.

Учебное издание

Коцуба Виктор Иосифович
Савенок Леонид Иванович

УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

для специальности 1-74 06 04 Техническое обеспечение
мелиоративных и водохозяйственных работ

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Коцуба В.И.*

Подписано в печать 24.04.2019. Формат 84 × 120 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч. - изд. л. .
Тираж 2 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.