

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ РЕЗАНИЯ

Л. И. САВЕНОК, канд. техн. наук, доцент
М. Э. БОРЦОВ, ассистент
В. С. СЕМАШКО, студент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Одним из основных дефектов корпусных деталей является износ отверстий под подшипники, который влечет за собой нарушение межосевого расстояния между валами в механизме, что провоцирует изнашивание других, находящихся в сопряжении деталей, например, зубьев шестерен. В ремонтном производстве все более широкое применение находит технология восстановления посадки отверстия под вал с помощью мобильных расточных и наплавочных станков. Они позволяют осуществлять ремонт узлов без снятия с машины, а также восстанавливать отверстия, в том числе соосные, крупногабаритных корпусных деталей [1].

Анализ выпускаемых мобильных станков показал, что они состоят из рабочего инструмента в виде борштанги, механизма вращения и механизма продольной подачи борштанги, а также суппортов, закрепляемых на обрабатываемой детали, на один из которых устанавливается шасси расточного станка.

Среди задач обеспечения эффективности работы расточных станков одной из важных задач является обеспечение точности обработки, так как борштанга представляет собой нежесткий вал, потому что ее длина превышает диаметр более чем в 10–12 раз.

Цель работы – определить силы резания, воздействующие на резец и борштангу в зависимости от режимов обработки детали.

Материалы и методика исследований. В процессе резания на лезвие резца со стороны срезаемого слоя действуют силы упругой и пластической деформации снимаемого слоя, а со стороны обработанной поверхности также действуют силы упругой и пластической деформации. При относительном перемещении резца и детали возникают силы трения по передней и задней поверхности резца. Эта система сил приводится к одной силе резания [2, 3].

В практических расчетах используют составляющие силы резания:

P_z – главная составляющая силы резания, касательная к поверхности резания и совпадающая с направлением главного движения. По ней рассчитываются мощность, затрачиваемая на резание и детали механизма главного движения станка;

P_x – осевая сила, действующая параллельно оси заготовки в направлении, противоположном движению подачи. По ней рассчитывается мощность, необходимая для осуществления движения подачи;

P_y – радиальная сила, направленная перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки. По ней рассчитывается станок на жесткость. В нашем случае радиальная сила позволяет определить величину изгиба борштанги при резании.

Результаты исследований и их обсуждение. В процессе лабораторных исследований определялась тангенциальная сила в зависимости от параметров резания, а затем определялась радиальная сила по зависимости $P_y = 0,4P_z$.

Опыты проводились на токарном станке 1К62, обеспечивающем требуемую жесткость системы станок – инструмент – деталь. Использовалась заготовка из стали 45 диаметром 140 мм, резец токарный проходной с пластиной из твердого сплава ВК-6 с углами $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ [3].

Для определения тангенциальной силы от параметров резания использовался однокомпонентный механический динамометр ДК-1, позволяющий измерять величину силы резания P_z до 6000 Н. Динамометр был установлен на верхнем суппорте токарного станка 1К62 (рис. 1), вместо предварительно снятого резцедержателя, и закреплен болтом.



Рис. 1. Установка динамометра ДК-1 на токарный станок

Перед началом работы была проверена надежность закрепления измерительного прибора на станке, так как при недостаточно прочном закреплении возникают вибрации резца, искажающие результаты испытаний. Также проверялась надежность закрепления заготовки.

Во избежание вибраций в процессе резания применялся резец с положительным передним углом и значительным углом в плане, резец располагался несколько выше центра.

Экспериментальное исследование содержало три серии опытов с трехкратной повторностью. В первой серии опытов заготовка обрабатывалась с четырьмя различными глубинами резания (t_1, t_2, t_3, t_4), оставляя все другие факторы (подачу, скорость резания и др.) неизменными.

Во второй серии опытов заготовка обрабатывалась при переменной подаче (S_1, S_2, S_3, S_4), а глубина и скорость резания оставались постоянными.

В третьей серии опытов обработка велась при переменной скорости резания (V_1, V_2, V_3, V_4), а подача и глубина резания сохраняли свои значения постоянными.

Для каждого значения подачи фиксировались показания индикатора и определялась величина силы P_z . Полученные в эксперименте результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний по влиянию режима обработки на вертикальную составляющую силы резания при точении

Серия опытов	№ опыта	Диаметр заготовки d , мм	Глубина резания t , мм	Подача S , мм/об	Частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Показания индикатора	Сила P_z , Н
$P_z = f(t)$	1	140	1	0,1	200	88	5	250
	2		2				10	500
	3		3				15	750
	4		4				20	1000
$P_z = f(S)$	1	140	1	0,1	200	88	5	250
	2		1	0,2			8	400
	3		1	0,3			12	600
	4		1	0,4			15	750
$P_z = f(V)$	1	140	1	0,1	200	88	5	250
	2		1		315	136	4,7	235
	3		1		500	219	4,4	220
	4		1		710	312	4,2	210

Графическая интерпретация результатов эксперимента показана на рис. 2–4.

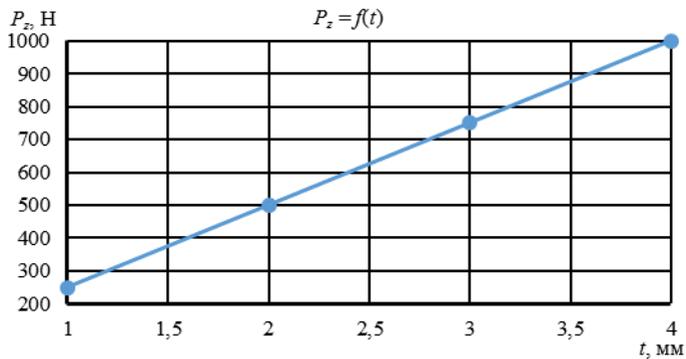


Рис. 2. Зависимость силы резания P_z от глубины резания t

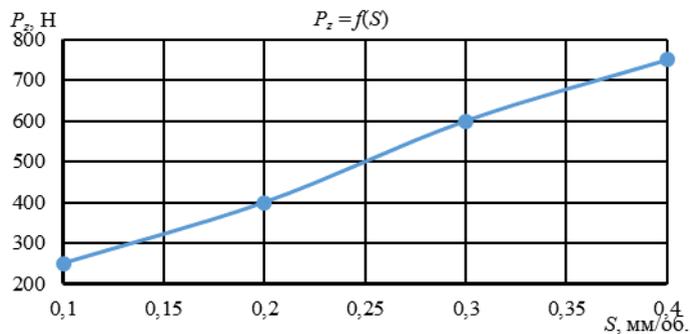


Рис. 3. Зависимость силы резания P_z от подачи S

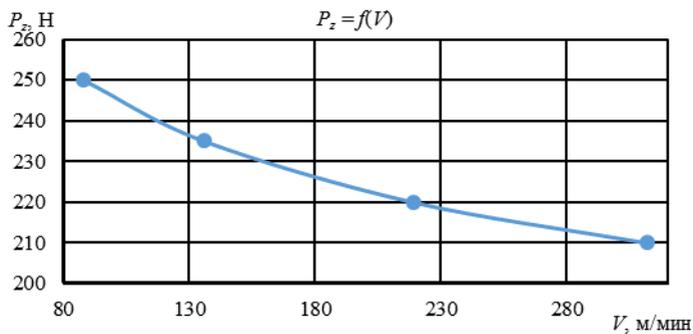


Рис. 4. Зависимость силы резания P_z от скорости резания V

Анализ рис. 2–4 показал, что при увеличении глубины резания t и подачи S сила резания P_z увеличивается в прямой зависимости. Увеличение скорости резания V значительно уменьшает силу резания P_z , однако при увеличении скорости резания может происходить повышенный износ резца и в итоге, снижение качества обработки.

В результате обработки опытных данных получена обобщающая зависимость для практического расчета силы резания P_z :

$$P_z = 2664t^1 S^{0,75} V^{-0,14}, \text{ Н.} \quad (1)$$

Для статистической проверки полученной зависимости использовались данные опытов (табл. 1). Например, для четвертого опыта первой серии при глубине резания $t = 4$ мм, подаче $S = 0,1$ мм/об и скорости резания $V = 88$ м/мин, подставив эти значения в зависимость (1) получили расчетное $P_{\text{расч}} = 1012,43$ Н. В результате эксперимента при данных показателях была получена сила $P_z = 1000$ Н.

Определим абсолютную и относительную ошибку:

$$\Delta P_z = P_{\text{расч.}} - P_z = 1012,43 - 1000 = 12,43 \text{ Н;} \quad (2)$$

$$B = \frac{\Delta P_z}{P_z} = \frac{12,43}{1000} \cdot 100 = 1,24 \text{ \%}. \quad (3)$$

Результаты обработки результатов эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний по влиянию режима обработки на вертикальную составляющую силы резания при точении

Серия опытов	№ опыта	Глубина резания t , мм	Подача S , мм/об	Скорость резания V , м/мин	Сила резания P_z , Н	Сила резания расчетная $P_{\text{расч.}}$, Н	Абсолютная ошибка, Н	Относительная ошибка, %
$P_z = f(t)$	1	1	0,1	88	250	253,11	3,11	1,24
	2	2			500	506,22	6,22	1,24
	3	3			750	759,33	9,33	1,24
	4	4			1000	1012,43	12,43	1,24
$P_z = f(S)$	1	1	0,1	88	250	253,11	3,11	1,24
	2	1	0,2		400	425,68	25,68	6,42
	3	1	0,3		600	576,96	-23,04	-3,84
	4	1	0,4		750	715,90	-34,10	-4,55
$P_z = f(V)$	1	1	0,1	88	250	253,11	3,11	1,24
	2	1		136	235	238,14	3,14	1,34
	3	1		219	220	222,78	2,78	1,26
	4	1		312	210	212,01	2,01	0,96

Анализ табл. 2 показал, что полученная зависимость силы резания от режимов резания дала, за исключением трех опытов относительную погрешность менее 2 %.

Следовательно, полученная зависимость (1) может использоваться для определения силы резания P_z расточного станка и соответственно мощности его привода и диаметра борштанги. При изменении условий резания следует вводить в зависимость поправочные коэффициенты.

Заключение. В результате эксперимента были определены силы резания и получена математическая зависимость для аналитического определения сил резания. Среди факторов, влияющих на погрешности обработки расточным станком, следует отметить деформацию (прогиб) борштанги под действием радиальной составляющей силы резания (или стрелу прогиба).

Результаты эксперимента показали, что при расточке отверстий для получения 5–7-го квалитетов точности следует использовать борштанги диаметром не менее 40 мм, а при установке опор на расстоянии более 600 мм следует использовать режимы резания с уменьшенной подачей и глубиной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Столяров, А. О. Анализ технологии восстановления корпусных деталей / А. О. Столяров, К. В. Костерев, В. И. Коцуба // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – С. 128–131.
2. Савенок, Л. И. Обработка заготовок деталей машин резанием (Проектирование технологического процесса) / Л. И. Савенок. – Горки: БГСХА, 2004. – 124 с.
3. Савенок, Л. И. Зависимость вертикальной составляющей силы резания от режима обработки при точении: методические указания по выполнению лабораторной работы / Л. И. Савенок, В. И. Коцуба. – Горки: БГСХА, 2018. – 24 с.
4. Некрасов, С. С. Обработка материалов резанием / С. С. Некрасов. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 336 с.

Аннотация. Для обеспечения эффективности работы расточных станков одной из важных задач является обеспечение точности обработки детали, на которую влияет жесткость борштанги. В материалах приведены результаты эксперимента по определению сил резания, служащих основой для выбора диаметра борштанги, обеспечивающего получение требуемого квалитета точности при расточке отверстий.

Ключевые слова: расточка отверстий, борштанга, режимы резания, силы резания, жесткость, диаметр борштанги.