

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ БОРШТАНГИ РАСТОЧНОГО СТАНКА

А. О. СТОЛЯРОВ, инженер  
И. Ю. ДЕМЬЯНОВИЧ, студент  
Л. И. САВЕНОК, канд. техн. наук, доцент

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. Поэтому при ремонте корпусной детали уделяется особое внимание определению первоначального места расположения оси отверстия под подшипники [4].

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.

Анализ выпускаемых мобильных станков показал, что они, как правило, содержат привод рабочего инструмента в виде борштанги или электрического вала с наплавочной головкой, шасси, установленные на нем приводы механизма вращения и механизма продольной подачи борштанги с соответствующими двигателями и закрепляемые на обрабатываемой детали, два суппорта, из которых один несущий суппорт выполнен с возможностью установки на него шасси.

Однако для предприятий, выполняющих незначительный объем восстановлений отверстий в корпусных деталях необходим более дешевый расточной станок. Удешевление станка возможно за счет применения ручного привода подачи борштанги.

Среди задач обеспечения эффективности работы расточных станков одной из важных задач является обеспечение точности обработки. При этом обеспечение точности обработки борштангой, которая представляет собой жесткую деталь типа «вал» находится в ряду важнейших. Жестким принято называть вал, длина которого превышает диаметр более чем в 10–12 раз.

На этапе проектирования технологического процесса требования по точности формы выступают в качестве основного ограничения по выбору режимов обработки.

**Цель работы** – определить силы резания, воздействующие на резец и борштангу в зависимости от режимов обработки детали, а также рассчитать параметры борштанги, обеспечивающей требуемую точность обработки.

**Материалы и методика исследований.** В процессе резания на лезвие резца действуют следующие силы:

- 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 срезаемой стружки дополнительной деформации изгиба и ломанию;
- силы трения на лезвии и других трущихся поверхностях рабочей части инструмента.

Со стороны срезаемого слоя нормально к передней поверхности резца действуют сила упругой деформации  $P_{упр}$  и сила пластической деформации  $P_{пл}$ . Со стороны обработанной поверхности нормально к задней поверхности резца действуют также силы упругой  $P'_{упр}$  и пластической деформации  $P'_{пл}$ . При относительном перемещении резца и детали возникают силы трения по передней и задней поверхности резца [2, 3]:

$$T = \mu(P_{упр} + P_{пл}) \text{ и } T' = \mu'(P'_{упр} + P'_{пл}), \quad (1)$$

где  $\mu$  и  $\mu'$  – коэффициенты трения.

Эта система сил приводится к одной силе  $P$ , называемой силой резания. 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 станка от действия сил  $P_z$  и  $P_y$ , рассчитывается мощность, необходимая для осуществления движения подачи;

$P_y$  – радиальная сила, направленная перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки. По ней рассчитывается станок на жесткость.

**Результаты исследований и их обсуждение.** С учетом механических свойств материала деталей, свойств твердосплавного инструмента и его геометрии, величины припуска на обработку определяются режимы резания. Далее следует проверочный расчет, который показывает: обеспечивают ли выбранные режимы резания, а также схема закрепления заданную точность. Если проверочный расчет показывает, что требования по точности не выполняются, то требуется снижать режимы обработки, выбирать более жесткие схемы закрепления и т. д.

В процессе лабораторных исследований определение тангенциальной силы от параметров резания выполнялось на токарном станке 1К62, обеспечивающем требуемую жесткость системы станок – инструмент – деталь. Использовалась заготовка из стали 45 диаметром 140 мм, резец токарный проходной с пластижкой из твердого сплава ВК-6 с углами  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\lambda = 0$  [2].

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, вместо предварительно снятого резцедержателя.

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  $P_z$ .

Среди факторов, влияющих на погрешности формы нежестких деталей типа «вал», следует отметить деформацию (прогиб) заготовки под действием радиальной составляющей силы резания (или стрелу прогиба). Стрела прогиба определяется координатами приложения радиальной составляющей силы резания, модулем нормальной упругости борштанги, ее геометрическими параметрами и схемой закрепления на обрабатываемой детали.

Допуск стрелы прогиба борштанги можно описать зависимостью [1]:

$$[y] \leq k \cdot Td, \quad (2)$$

где  $[y]$  – допустимая величина прогиба борштанги относительной геометрической точности, мкм;

$Td$  – допуск на размер, мкм;

$k$  – коэффициент, зависящий от уровня относительной геометрической точности и равный 0,3; 0,2; 0,12 для уровней точности А, В, С соответственно.

Борштанга представляет собой двухопорный вал. Стрела прогиба борштанги для указанной схемы закрепления определяется следующим образом:

$$y = \frac{P_y \cdot x_p^2 (L_{б.р} - x_p^2)}{3EJL_{б.р}}, \quad (3)$$

где  $P_y = 0,4 P_z$  – радиальная составляющая силы резания, Н;

$L_{б.р}$  – длина борштанги между точками закрепления, мм;

$x_p$  – расстояние от опоры до места приложения силы, мм;

$E$  – модуль нормальной упругости, кг/мм<sup>2</sup> (для стали 9ХВГ –  $E = 2,75 - 3,02 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup> или  $\sim 2,75 - 3,02 \cdot 10^5$  МПа);

$J$  – приведенный момент инерции сечения борштанги, мм<sup>4</sup>, определяемый по формуле:

$$J = \frac{\pi d_6^4}{64 \cdot 10^4}, \quad (4)$$

где  $d_6$  – диаметр борштанги, мм.

На основании результатов эксперимента по определению сил резания нами выполнен расчет максимального изгиба борштанги в зависимости от ее диаметра и расстояния между опорами.

Результаты расчета борштанги на жесткость приведены на рис. 1.

Сопоставляя данные рисунка с величиной предельных отклонений отверстий, можно сделать вывод, что борштанга диаметром 20 мм не обеспечивает требуемой точности обработки на всем исследованном диапазоне сил резания.

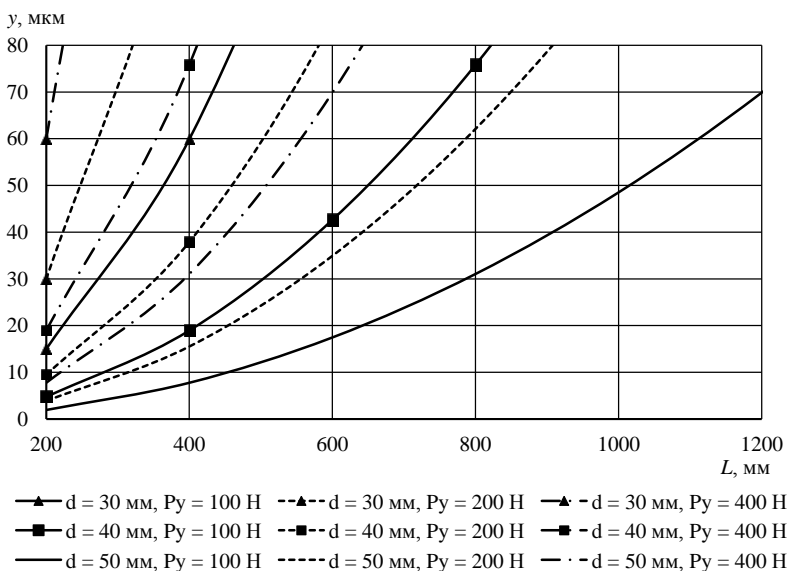


Рис. 1. Результаты расчетов величины изгиба борштанги ( $y$ ) в зависимости от ее диаметра ( $d$ ) и радиальной составляющей силы резания ( $P_y$ )

Борштанга диаметром 30 мм позволяет получить 6-квалитет точности при расстоянии между опорами 200 мм и радиальной составляющей силы резания 100 Н, а также 7-квалитет при расстоянии между опорами 200 мм и радиальной составляющей силы резания 200 Н.

Борштанга диаметром 40 мм при расстоянии между опорами 200 мм позволяет получить 5-квалитет точности при всех исследованных режимах резания. 7-квалитет может достигаться при радиальной составляющей силы резания 200 Н при расстоянии между опорами борштан-

ги до 400 мм, а при радиальной составляющей силы резания 100 Н – при расстоянии между опорами борштанги до 600 мм.

Борштанга диаметром 50 мм позволяет получить 5-квалитет точности при всех исследованных режимах резания. При расстоянии между опорами до 300 мм, 7-квалитет – на всех режимах резания при расстоянии между опорами борштанги до 450 мм, при радиальной составляющей силы резания 200 Н – до 650 мм, и при радиальной составляющей силы резания 100 Н – до 900 мм.

**Заключение.** Для обеспечения эффективности работы расточных станков одной из важных задач является обеспечение точности обработки детали, на которую влияет жесткость борштанги.

Результаты эксперимента показали, что при расточке отверстий для получения 5-го – 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. Некрасов, С. С. Обработка материалов резанием / С. С. Некрасов. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 336 с.
2. Савенок, Л. И. Зависимость вертикальной составляющей силы резания от режима обработки при точении / Л. И. Савенок, В. И. Коцуба. – Горки: БГСХА, 2018. – 24 с.
3. Савенок, Л. И. Обработка заготовок деталей машин резанием (Проектирование технологического процесса). – Горки: БГСХА, 2004. – 124 с.
4. Столяров, А. О. Анализ технологии восстановления корпусных деталей / А. О. Столяров, К. В. Костерев // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – С. 128–131.

*Аннотация.* Для обеспечения эффективности работы расточных станков одной из важных задач является обеспечение точности обработки детали, на которую влияет жесткость борштанги. В статье приведены результаты эксперимента по определению диаметра борштанги, обеспечивающего получение требуемого квалитета точности при расточке отверстий в зависимости от расстояния между опорами борштанги и режимов резания.

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