

**ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ**

УДК.: 620.1.052.2:621.941-021.4

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ И ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Кадыров Ишембек Шакирович, д.т.н., проф., КНАУ им. К.И. Скрябина, Кыргызстан, 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, e-mail: [bgtu\\_kg@mail.ru](mailto:bgtu_kg@mail.ru).*

*Турусбеков Бактыбек Сагындыкович, к.т.н., доцент, КНАУ им. К.И. Скрябина, Кыргызстан, 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, e-mail: [tbs200618@gmail.com](mailto:tbs200618@gmail.com).*

**Аннотация.** В статье дается методика установления функциональной связи сил резания крутящего момента с подачей инструмента и скоростью резания на основе проведенных экспериментальных исследований при механической обработке точение и шлифование. Установлено, что наиболее радикальными способами управление точности механической обработки являются способы автоматического управления режимами резания с целью стабилизации величиной упругих перемещений инструмента независимо от изменений условий резания, т.е. путем регулирования силы резания изменяя подачу инструмента или скорость резания, поскольку эти параметры функционально связаны величиной силы резания. Установлено, что применение автоматических систем управления в металлорежущих станках, позволяет решить основную задачу в машиностроении – повышение качества изготавливаемой продукции.

**Ключевые слова:** металлорежущий станок, приспособление, стойкость инструмента, деталь, режим резания, производительность токарной обработки, гидропривод подачи, система стабилизации упругих деформаций.

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE QUALITY OF PRODUCTION OF THE PRODUCT IN TURNING AND GRINDING PROCESSING**

*Kadyrov Ishembek Shakirovich, Doctor of Engineering, Professor, KNAU named after K.I. Scriabin, Kyrgyzstan, 720005, Bishkek, st. Mederova 68, e-mail: [bgtu\\_kg@mail.ru](mailto:bgtu_kg@mail.ru).*

*Turusbekov Baktybek Sagyndykovich, Ph.D., Associate Professor, KNAU named after K.I. Scriabin, Kyrgyzstan, 720005, Bishkek, st. Mederova, 68, e-mail: [tbs200618@gmail.com](mailto:tbs200618@gmail.com).*

**Annotation.** The article provides a methodology for establishing the functional relationship of the cutting forces of torque with the feed of the tool and the cutting speed on the basis of experimental studies during machining of turning and grinding. It has been established that the most radical ways of controlling the accuracy of machining are methods of automatic control of cutting conditions in order to stabilize the value of the elastic displacements of the tool regardless of changes in cutting conditions, i.e. by adjusting the cutting force by changing the tool feed or cutting speed, since these parameters are functionally related to the value of the cutting force. It is established that the use of automatic control systems in metal-cutting machines allows us to solve the main problem in mechanical engineering - improving the quality of manufactured products.

**Key words:** metal-cutting machine, fixture, tool life, part, cutting mode, turning performance, hydraulic feed, stabilization system for elastic deformations.

**Введение.** Решающей проблемой современного машиностроения является повышение качества изделия и увеличение производительности труда. Одним из основных показателей качества в машиностроении является точность изделия. Требования к точности изделий непрерывно возрастают. Некоторые детали современных машин и приборов необходимо изготавливать с отклонениями, не выходящими за пределы допуска – в 0,002 мм [1,7,8,9].

Точность геометрических размеров необходима не только для непосредственного выполнения изделиями их служебного назначения, но и является одной из предпосылок длительной работы их без потери первоначальной точности. Для этого в изделиях, создается так называемый «запас точности», служащий для компенсации физического износа, возникающего в изделиях в процессе их эксплуатации.

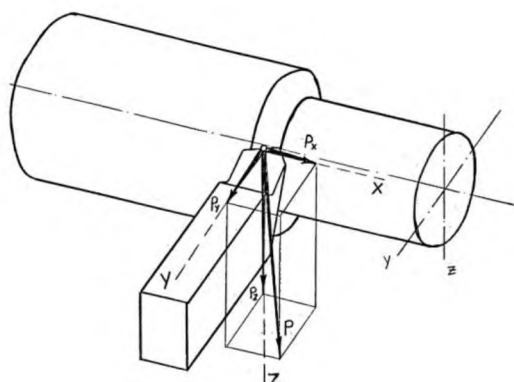
На качество изготовления деталей (точность геометрических размеров, чистота поверхности) при механической обработке влияет множество факторов: неточность, износ и деформация станков, неточность изготовленного инструмента и его износ в процессе работы, упругие деформации системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД), тепловые деформации при резании металла, переменности жесткости и податливости технологической системы и ее динамика, вибрация, смазочно-охлаждающая жидкость, режимы резания и др.

Было установлено наиболее радикальными способами управление точности механической обработки являются способы автоматического управления режимами резания с целью стабилизации величиной упругих перемещений инструмента независимо от изменений условий резания, т.е. путем регулирования силы резания изменяя подачу инструмента или скорость резания, поскольку эти параметры функционально связаны величиной силы резания.

**Материалы и методы.** Для установления функциональной связи сил резания, крутящего момента с подачей инструмента и скоростью резания была проведена экспериментальные исследования при механической обработке точение на токарном станке и шлифование на шлифовальном станке.

Известно, что силы резания определяют работу, затрачиваемую на резание, количество образующего тепла при резании металлов, на величину упругого перемещения системы СПИД, износ режущего инструмента, который определяет его стойкость и т. д.

**Расчеты.** Знание величины силы резания необходимо для расчета: прочности режущей части инструмента, его конструкции, приспособления, механизмов станка и других его узлов.



**Точение.** На рис. 1. показана схема сил резания, действующих на резец при точении.

Определение составляющих сил резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  дает возможность подсчитать усилия, действующие на отдельные звенья станка.

Усилие  $P_z$  позволяет найти крутящий момент передаваемый шпинделем станка, по значению усилия  $P_x$  можно подсчитать усилие механизма подачи, а  $P_y$  – для подсчета прогиба детали при резании, обуславливающего точность обработки детали.

Равнодействующая сил резания равна [2,3,4,6]:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2} \quad (1)$$

В справочниках по технологии машиностроения [3] для обработки стали с пределом точности  $\sigma_b = 75 \text{ кг/мм}^2$  даются следующие эмпирические формулы в виде  $P = ct^x s^y$ :

$$P_z = 200 \cdot t \cdot s^{0,75}; P_y = 125 \cdot t^{0,9} \cdot s^{0,75}; P_x = 65 \cdot t^{1,2} \cdot s^{0,65}, \quad (2)$$

где:  $t$  – глубина резания (припуск на обработку);  $s$  – подача инструмента, мм/об;  $c$  – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала и условий обработки.

Опытами установлено приближенные соотношения между составляющими сил резания:

$$P_y/P_x = 0,4 \div 0,5; P_x/P_z = 0,3 \div 0,4. \quad (3)$$

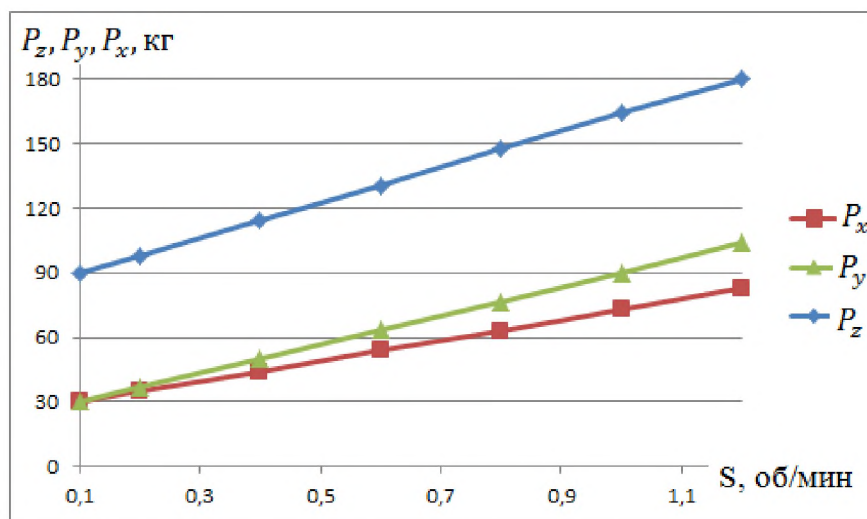
Анализ формул (2) показывает при прочих постоянных значениях глубины резания и условий резания представляется возможным регулирование, величиной силы резания, изменяя подачу на оборот инструмента.

Чем больше величина подачи инструмента, тем больше площадь поперечного сечения среза и объем деформируемого металла, следовательно, больше сопротивление металла стружкообразованию, и процесс резания будет протекать с большими значениями  $P_z, P_y$  и  $P_x$

Так, например, нами экспериментально установлено, что при увеличении подачи в два раза площадь поперечного сечения среза возрастает в два раза.

**Результаты и обсуждение.** Для экспериментального исследования влияние подачи инструмента на составляющие силы резания были проведены эксперименты: станок 1К62, обрабатываемая заготовка Ст45, глубина резания  $t=2$  мм.

Для измерения, составляющего сил резания был применен разработанный в лабораторных условиях силовый датчик ДСР-1. В качестве инструмента применен



резец из быстрорежущей стали с прямолинейной режущей кромкой при скорости резания 22 м/мин. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

Подача инструмента влияет на силу резания в степени меньше единицы, показывающей уменьшение усадки стружки и коэффициента трения с увеличением подачи.

Результаты, полученные на рис. 2 могут быть аппроксимированы уравнениями:

$$P_z = 490 \cdot s^{0,75}; P_y = 150 \cdot s^{0,8}; P_x = 115 \cdot s^{0,65}. \quad (4)$$

Известно [2], что при изменении скорости резания изменяются и силы резания, при этом зависимость представляют собой в виде кривых, имеющих минимум и максимум значений.

При обработке заготовки из стали 45 резцом твердосплавным Т15К6, глубина резания  $t=3$  мм, подача на оборот  $s=0.3$  мм/об на токарном станке 1К62 получены результаты экспериментов, представленные на рис. 3.

Экспериментальные результаты, получены при постоянных значениях передних углах и углах в плане и толщине среза.

Как видно из графиков силы резания с увеличением скорости резания до 60 м/мин растут, затем уменьшаются до 240 м/мин: силы  $P_z$  примерно на 20%, а силы  $P_y$  и  $P_x$  – примерно на 30%.

Уменьшение силы резания  $P_z$  с 20÷30 м/мин связано процессом наростообразования и при дальнейшем увеличении скорости резания до 60 м/мин наростообразование уменьшается и в связи с этим увеличивается сила  $P_z$ , а при дальнейшем увеличении скорости резания нароста уже не будет и сила  $P_z$  уменьшается.

Уменьшение  $P_z$  с увеличением скорости резания (скорости деформаций) вызывается так же уменьшением объема деформированной зоны от действия резца.

Для обеспечения высокой производительности токарной обработки она производится на высоких скоростях резания, начиная с 60 м/мин до 400-500 м/мин, при этом происходит процесс стабилизации силы резания.

В диапазоне скоростей 60÷500 м/мин составляющие силы резания могут быть рассчитаны по формуле:

$$P_z = \frac{c}{v^{n_1}}; P_y = \frac{c}{v^{n_2}}; P_x = \frac{c}{v^{n_3}}, \quad (5)$$

где:  $c$  – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки (материала, геометрических размеров режущего инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости и др.);  $n_1=0.1\div0.15$ ;  $n_2=0.18\div0.3$ ;  $n_3=0.22\div0.4$  – зависят в основном от материала обрабатываемой детали, угла резания, толщины среза.

Чем пластичнее материал, больше угол резания и толщина среза, тем больше  $n$ .

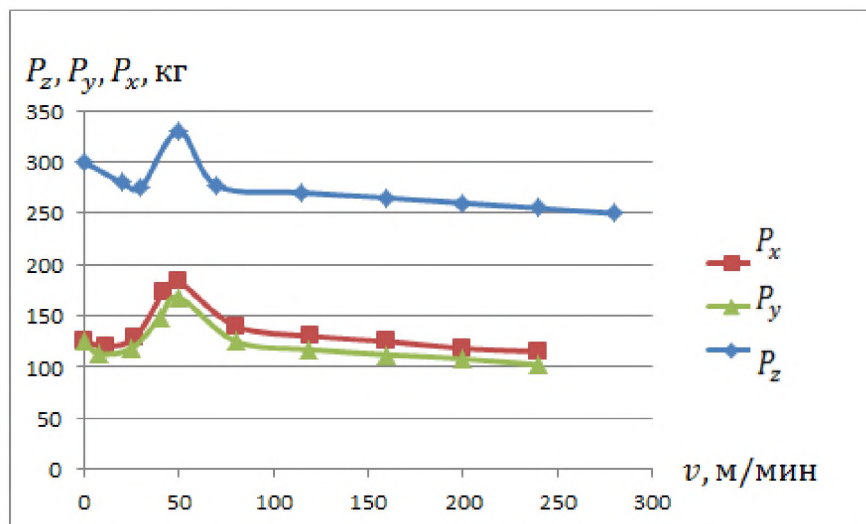


Рис. 3. Экспериментальные зависимости составляющих

**Шлифование.** Процесс шлифования металлов широко используется в машиностроении как при чистовой, так и при черновой обработке деталей машин и инструментов.

Шлифовальные станки составляют около 10% от всего действующего парка металлорежущих станков.

Шлифование представляет собой операцию обработки поверхностей деталей абразивными кругами, брусками или абразивными порошками.

Процесс стружкообразования при шлифовании приближается к резанию. Несмотря на малые размеры срезаемого слоя получаемая при шлифовании стружка имеет то же строение и вид, что и стружка, получаемая при точении. Здесь имеет место упругое и пластическое деформирование, тепловыделение, упрочнение, износ и др. Высокая температура при шлифовании (до 1500 °С) возникает в результате наличия у зерен разнообразной неправильной геометрии режущей части и большой скорости резания.

С увеличением износа зерен температура при шлифовании повышается, что может вызвать деформацию детали.

Для снижения температуры при шлифовании сталей применяют обильное смазочно-охлаждающую эмульсию (10-60 л/мин).

Рассмотрим круглое шлифование в центрах при обработке цилиндрических наружных поверхностей.

Заготовка имеет вращательное движение вокруг оси и поступательное движение вдоль оси (продольная подача) для обработки по всей длине заготовки, поступательное движение шлифовального круга, т.е. поперечная подача на определенную глубину, осуществляется в конце продольного хода заготовки и может происходить за один ее ход или за два хода (за один двойной ход).

Силы резания при шлифовании показаны на рис 4.

**Расчеты.** Равнодействующая силы резания раскладывается на три составляющие:  $P_z$  – тангенциальная;  $P_y$  – радиальная;  $P_x$  – осевая.

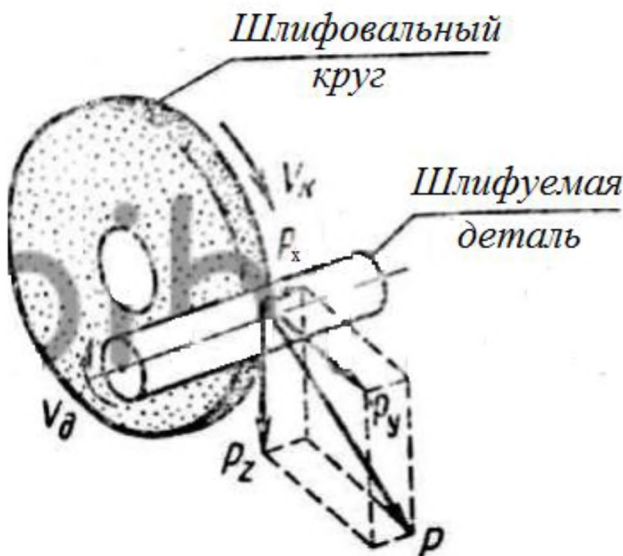


Рис. 4. Разложение равнодействующей силы резания при шлифовании

Эти составляющие характеризуют расчетные силы для определения необходимых параметров процесса шлифования:

- а) мощность на шпинделе круга детали –  $P_z$ ;
- б) жесткости системы станок – деталь – инструмент –  $P_y$ ;
- в) мощности механизма подачи –  $P_x$ .

Силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  по величине небольшие. Наибольшей из этих сил является  $P_y$  отжимающая шлифовальный круг от заготовки [5].

Сила  $P_y = (1.5 \div 3)P_z$  и зависит от износа круга.

Экспериментально установлена эмпирическая формула для расчета  $P_z$ .

$$P_z = c \cdot b \cdot v^{0.7} s_n^{0.7} t^{0.6}, \quad (6)$$

где  $c$  – коэффициент, зависящий от материала заготовки и условий резания;  $s_n$  – продольная подача;  $t$  – припуск, снимаемый за один рабочий проход;  $v$  – скорость шлифования, она равна

$$v \approx \frac{\pi D_{кр} n_{кр}}{1000 \cdot 60} \text{ м/с}, \quad (7)$$

где  $D_{кр}$  – диаметр шлифовального круга в мм;  $n_{кр}$  – число оборотов шлифовального круга в мм.

Глубина резания измеряется в направлении перпендикулярном к обработанной поверхности и равно толщине слоя металла, снимаемого за один ход (мм/ход) или двойной (мм/дв. ход) продольный ход стола (заготовки).

$$t = \frac{D_3 - D_0}{2},$$

где:  $D_3$  – диаметр заготовки;  $D_0$  – диаметр изделия после шлифования за один проход.  $t = 0.01 \div 0.25$  мм – при черновом шлифовании.  $t = 0.005 \div 0.015$  мм – при чистовом.

Для выявления сущности процесса шлифования и определения различных факторов большое влияние имеет глубина резания, которая определяет нагрузку на зерна круга, чем меньше  $t$ , тем меньше нагрузка приходится на зерна и при этом достигается качественная обработка.

Для увеличения стойкости круга и получения менее шероховатой поверхности необходимо скорость заготовки уменьшить, а скорость круга увеличить, согласно формулам:

Окружная скорость заготовки равна:

$$v_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000} \text{ м/МИН,} \quad (8)$$

где:  $n_3$  – число оборотов заготовки

Окружная скорость круга соответственно равна, определяемой формулой (8).

С другой стороны уменьшение окружной скорости заготовки приводит к увеличению машинного времени (время обработки), т.е. к снижению производительности, поэтому низкое значение  $v_3$  невыгодно, а увеличение приводит к повышенному износу круга (снижение стойкости), возрастает время контакта между шлифовальным кругом заготовки, что приводит к повышению температуры и может вызывать прожоги обработанной поверхности.

Увеличение  $v_3$  вызывает возрастание центробежных сил и амплитуд вибраций, что существенно снизит качество поверхности.

Окружную скорость шлифовального круга следует выбирать наибольшей, учитывая допустимую его прочность, зависящую в основном от рода связки и ее формы.

Машинное время при наружном круглом шлифовании в центрах методом продольной подачи равно:

$$T_m = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot s_d \cdot b \cdot t} k, \quad (9)$$

где:  $L$  – длина рабочего хода в направлении продольной подачи;  $L = l \div (0.2 \div 0.4)b$ ;  $l$  – длина шлифуемой поверхности;  $b$  – ширина круга;  $s_d$  – долевая подача (в долях ширины круга за один оборот заготовки);  $t$  – глубина резания (поперечная подача);  $k$  – коэффициент точности, равный при черновом шлифовании 1.1, а при чистовом – 1.4.

Под рабочим движением шлифовального станка понимаются движения шлифовального круга и обрабатываемой детали в процессе ее шлифования, т.е. скорости главных приводов и приводов подачи непосредственно определяют, как режимные, так и точностные характеристики процесса шлифования.

Любое отклонение скоростей рабочих движений шлифовального станка от заранее заданных значениях под действием внутренних и внешних воздействий приводит к соответствующим отклонениям качества обработки (геометрические размеры и шероховатость) изделий.

**Результаты и обсуждение.** Отсюда вытекает необходимость автоматической стабилизации скоростей главных и электро – и гидроприводов, приводов подач, как один из путей стабилизации качественных показателей шлифования.

В принципе для улучшения качества процесса шлифования необходимо разработать следующие системы автоматического регулирования:

1. Система автоматической стабилизации скорости поперечной подачи.
2. Автоматическая стабилизация скорости резания.
3. Система автоматической стабилизации сил резания.
4. Система стабилизации упругих деформаций системы СПИД.
5. Автоматическая стабилизация мощности, затрачиваемой на шлифование.
6. Автоматическая система стабилизации крутящего момента.
7. Автоматическая система стабилизации продольной подачи при шлифовании.

### Выводы

1. **Влияние износа резца.** При возрастании износа задней поверхности, как было отмечено выше, увеличивается площадка контакта поверхностей заготовки с резцом, что приводит к увеличению трения и соответственно к возрастанию сил резания, особенно интенсивно увеличиваются силы  $P_y$  и  $P_x$ .

2. Решение поставленных задач в статье, предусматривающее применение автоматических систем управления как при точении, так и шлифовании в металлорежущих станках, позволяет решить основные задачи в машиностроении повышения качества продукции (геометрическую точность, чистоту обработанной поверхности) и стойкости режущего инструмента.

### Литература

1. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками. – М.: Машиностроение, 1973. – 687с.
2. Балашов В.М. Обработка резанием в машиностроении: Учеб. пособ. для студентов вузов/ В.М. Балашов, В.В. Мешков, СП. Рыков – Тверь: Изд-во Твер. гос. тех. университета, 2004. – 198 с.
3. Грановский Г.Н., Грудов П.П. и др. Резание металлов. – М.: Машгиз, 2001. – 460 с.
4. Кишуров В.М. Резание материалов. Режущий инструмент. Учеб. пособ. для студентов вузов/ Кишуров В.М. – М.: Машиностроение, 2009. – 492 с.
5. Михелькевич В.И. Автоматическое управление шлифованием – М.: Машиностроение, 1975. – 303 с.
6. Рыжкин А.А. Обработка металлов резанием. Учеб. пособ. для студентов вузов/ А.А.Рыжкин, К.Г. Шучев, М.М. Климов – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 411 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: под ред. А.М. Дальского, А.Г. Касиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
8. Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособ. для вузов/ Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкина и др.; Под ред. С.Л.Мурашкина: – М.: Высшая школа, 2003. – 278 с.
9. Технология машиностроения: В 2-х т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М.Дальского: – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.
10. Ящерицин П.И. Теория резания: Учебник/ П.И. Ящерицин, Е.Э. Фельдштейн, М.А.Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.