

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

## **ТЕОРИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ для студентов направления  
15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных  
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном  
машиностроительном производстве»), всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.01(07)  
ББК 34.5я7

**Составители:** д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин,  
канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

**Теория формообразования деталей при механической обработке:** методические указания к практическим работам для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве»), всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин. М. Н. Краснова. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 25 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы к выполнению практических работ, рассматриваются вопросы обеспечения точности при упрочнении деталей машин при использовании различных методов технологического воздействия.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве»), всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ\_ПР\_ТФДМО.pdf.

Ил. 14. Табл. 3. Библиогр.: 9 назв.

**УДК 621.01(07)**  
**ББК 34.5я7**

**Рецензент** – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## 1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

### «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦОМ С ТВЕРДОСПЛАВНОЙ ПЛАСТИНОЙ»

«

**Цель:** практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния геометрии инструмента на силовые параметры обработки.

#### 1.1. Теоретическая часть

Известно, что с уменьшением переднего угла  $\gamma$  возрастает давление стружки на резец. Причина этого — уменьшение угла сдвига и увеличение силы трения по передней поверхности резца, так как при этом стружка все более отклоняется от своего естественного направления. Указанные обстоятельства способствуют деформации и как следствие — увеличению сопротивления резанию. А. Н. Челюсткин на основании данных Тиме, Зворыкина и своих исследований пришел к выводу: в пределах значений  $\delta = 60\text{—}90^\circ$  сила резания  $P_z$  прямо пропорциональна углу резания  $\delta$ . Таким образом, если принять  $P_z$  при  $\delta = 75^\circ$  за единицу (при  $\delta = 75^\circ$  определяется коэффициент резания), то при любом значении угла  $\delta$  сила резания  $P_z$  будет

$$P_{z\delta} = P_{z75} \cdot \frac{\delta}{75}.$$

Надо добавить, что степень влияния угла резания на силу  $P_z$  уменьшается с увеличением скорости резания. Это объясняется тем, что с увеличением угла  $\delta$  при малых скоростях усиливается наклеп стружки и поверхности резания, в результате чего повышается сопротивление деформации и трение стружки о резец. Опыты К.В. Савицкого показали, что удельная работа трения непрерывно возрастает с увеличением степени наклепа. При больших, скоростях резания трение, наклеп и деформации уменьшаются, пластичность стружки увеличивается вследствие нагрева, и поэтому с увеличением угла резания силы резания растут, но в меньшей степени, чем это имеет место при пониженных скоростях.

Очевидно, при обработке хрупких металлов (чугун, бронза), когда деформация стружки и наклеп весьма незначительны, угол резания не будет оказывать заметного влияния на силы резания, что и подтверждается на практике.

При работе твердосплавными резцами влияние угла резания на все составляющие силы резания для случая обработки стали можно выразить эмпирическими формулами

$$P_z = C_{Pz} \delta^{z_{Pz}}$$

$$P_y = C_{Py} \delta^{z_{Py}}$$

$$P_x = C_{Px} \delta^{z_{Px}}$$

При наличии упрочняющей фаски на передней поверхности резца вдоль режущей кромки замечается значительное увеличение составляющих резания, как только ширина фаски достигнет определенной величины, зависящей от подачи (рисунок). Надо полагать, что возрастание нагрузки должно быть тем большим, чем выше значение угла резания у самой фаски.

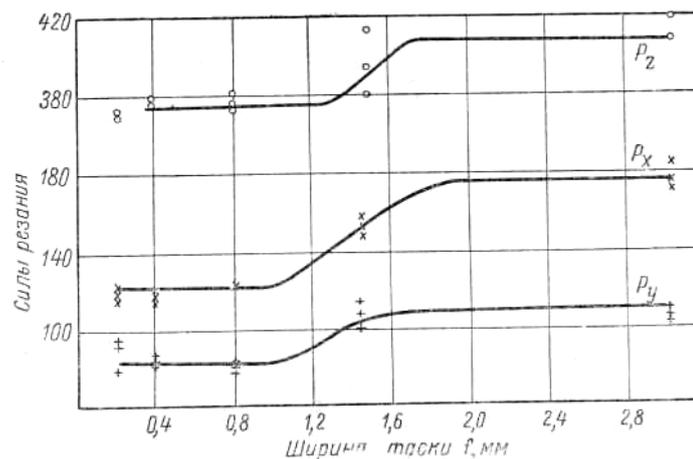


Рис. Влияние ширины фаски на составляющие силы резания

## 1.2. Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от угла резания могут быть определены по следующим формулам:

$$P_z = C_{Pz} \delta^{z_{Pz}}$$

$$P_y = C_{Py} \delta^{z_{Py}} \quad (1.1)$$

$$P_x = C_{Px} \delta^{z_{Px}}$$

где  $C_{Px}$ ,  $C_{Py}$ ,  $C_{Pz}$  – постоянные коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

$z_{Pz}$ ,  $z_{Py}$ ,  $z_{Px}$ , – показатели степеней, учитывающие влияние режимов резания.

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражениях /1.1/ для конкретных условий обработки могут быть определены по однофакторной или многофакторной методике, суть

которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение /1.1/ для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

Графически выражения /1.1/ изображаются в виде графиков степенной функции. Нахождение коэффициентов  $C_p$  и показателей степеней  $z_p$  таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифмирования

$$\ln P_z = \ln C_{p_z} + z_{p_z} \ln \delta . \quad (1.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$y = a + bx . \quad (1.3)$$

Таким образом, выражения /1.2/ в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции  $P_z = f(\delta)$  к горизонтальной оси

$$z_{p_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} . \quad (1.4)$$

$C_{p_z}$ , – коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей  $P_z$  силы резания при единичных значениях  $t$ ,  $s$ ,  $v$ .

### 1.3. Порядок выполнения работы

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра- сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  в зависимости от изменения угла резания инструмента при постоянных других геометрических параметрах инструмента, глубине резания  $t = 1,0$  мм, подаче  $s = 1,0$  мм/об и скорости резания  $v = 20$  м/мин и занести данные в таблицу.
6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$ .
7. На основании данных таблицы и построенных графиков графо-

аналитическим методом определить коэффициенты  $C$  и показатели степени  $z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$  зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показатели степени  $z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$  определяются как  $\operatorname{tg}\alpha_1$ ,  $\operatorname{tg}\alpha_2$ ,  $\operatorname{tg}\alpha_3$  и т. д /выражение /1.4/, а коэффициенты  $C$  - подстановкой в выражения 1.1 и 1.2 значений величин составляющих  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из таблицы. Каждое из значений  $z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$ ,  $C_p$  определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.

8. На основании полученных зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$  сделать вывод о влиянии угла резания инструмента на составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ .

9. Оформить отчет по работе.

Таблица

№ под- группы	№ опы- та	Геометрия инструмента			Составляющие силы резания		
		$\alpha$	$\delta$	$\varphi$	$P_z$ , кН	$P_y$ , кН	$P_x$ , кН
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
2	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
3	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
4	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
5	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

## 1.4. Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета;

Отчет должен содержать следующие разделы:

1.4.1. Название, цель и содержание работы.

1.4.2. Техническая характеристика станка.

1.4.3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.

1.4.4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.

1.4.5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).

1.4.6. Зависимость составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ , от исследуемого геометрического параметра инструмента /таблица/.

1.4.7. Графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$  в двойных логарифмических координатах.

1.4.8. Расчеты показателей степени  $Z_{pz}$ ,  $Z_{py}$ ,  $Z_{px}$ , и коэффициентов  $C_p$  в выражении (1.1).

1.4.9. Зависимости  $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$  (1.1) с рассчитанными значениями  $Z_{pz}$ ,  $Z_{py}$ ,  $Z_{px}$ , и  $C_p$ .

1.4.10. Выводы.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

### «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА В ПЛАНЕ ИНСТРУМЕНТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦОМ С ТВЕРДОСПЛАВНОЙ ПЛАСТИНОЙ»

**Цель:** практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния геометрии инструмента на силовые параметры обработки.

#### 2.1. Теоретическая часть

Из теории известно, что помимо угла резания на силу резания влияет также угол в плане  $\varphi$ ; нагрузка на резец увеличивается с уменьшением угла в плане и наоборот. Это понятно: при постоянной площади среза  $f$  с уменьшением угла в плане уменьшается толщина среза и соответственно увеличивается удельная сила резания. Опыт показывает, что нагрузка растет заметно лишь при весьма малых углах в плане  $\varphi < 30^\circ$ . Это подтверждается и формулой А. Н. Челюсткина.

Правда, опыт показывает и более сложную зависимость, когда при угле  $\varphi > 55^\circ$  нагрузка не уменьшается, а растет с дальнейшим увеличением угла в плане, что объясняется изменением условий образования стружки у вершины резца. Практически с увеличением угла в плане нередко уменьшают вспомогательный угол в плане, чтобы таким образом сохранить угол при вершине во избежание ослабления резца (рисунок). В таком случае сокращаются остаточные гребешки на обработанной поверхности изделия, следовательно, одновременно возрастает фактическая площадь среза, а тем самым и нагрузка на резец. Последняя может увеличиться еще и потому, что с уменьшением угла  $\varphi_1$  усиливается роль вспомогательной режущей кромки, работающей в менее благоприятных условиях.

В действительности сила резания  $P_z$  может повышаться также вследствие уменьшения переднего угла  $\gamma$  при  $\varphi > 55^\circ$ , если передняя грань не перетачивается, ибо согласно теории

$$\operatorname{tg} \gamma = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_y + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_x$$

с возрастанием угла в плане величина  $\sin \varphi$  увеличивается в меньшей степени, чем уменьшается  $\cos \varphi$  при  $\varphi > 55^\circ$ , и, следовательно будет увеличиваться фактический угол резания, а вместе с ним и сила  $P_z$ .

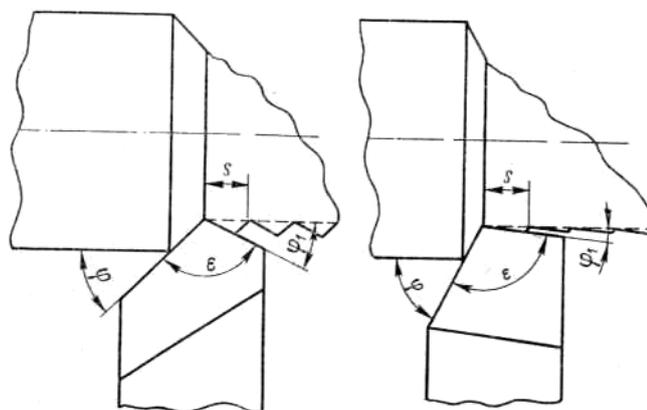


Рис. Влияние углов в плане на величину остаточных гребешков

Комиссия по резанию металлов рекомендовала учитывать влияние угла в плане для стали по следующим структурным формулам для стали:

$$\begin{aligned}
 P_z &= \frac{C_{P_z}}{\varphi^{z_{pz}}} && \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ \\
 P_y &= \frac{C_{P_y}}{\varphi^{z_{py}}} && \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ \\
 P_x &= C_{P_x} \cdot \varphi^{z_{px}} && \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

## 2.2. Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от угла резания могут быть определены по следующим формулам (2.1), где  $C_{px}$ ,  $C_{py}$ ,  $C_{pz}$  – постоянные коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

$z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$ , – показатели степеней, учитывающие влияние режимов резания;

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражениях /2.1/ для конкретных условий обработки могут быть определены по однофакторной или многофакторной методике, суть которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение /2.1/ для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

Графически выражения /2.1/ изображаются в виде графиков степенной функции. Нахождение коэффициентов  $C_p$  и показателей степеней  $z_p$  таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифми-

рования

$$\ln P_z = \ln C_{p_z} + z_{p_z} \ln \varphi. \quad (2.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$. \quad (2.3)$$

Таким образом, выражения /2.2/ в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции  $P_z = f(\varphi)$  к горизонтальной оси

$$z_{p_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1}. \quad (2.4)$$

$C_{p_z}$  – коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей  $P_z$  силы резания при единичных значениях  $t$ ,  $s$ ,  $v$ .

Аналогичные вычисления проводятся для  $P_x$  и  $P_y$ .

### 2.3. Порядок выполнения работы

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра- сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  в зависимости от изменения главного угла в плане инструмента при постоянных других геометрических параметрах инструмента, глубине резания  $t = 1,0$  мм, подаче  $s = 1,0$  мм/об и скорости резания  $v = 20$  м/мин и занести данные в таблицу.
6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$ .
7. На основании данных таблицы и построенных графиков графо-аналитическим методом определить коэффициенты  $C$  и показатели степени  $z_{p_z}$ ,  $z_{p_y}$ ,  $z_{p_x}$  зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показа-

тели степени  $z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$  определяются как  $\operatorname{tg}\alpha_1$ ,  $\operatorname{tg}\alpha_2$ ,  $\operatorname{tg}\alpha_3$  и т.д /выражение /2.4/, а коэффициенты  $C$  - подстановкой в выражения 2.1 и 2.2 значений величин составляющих  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из таблицы. Каждое из значений  $z_{pz}$ ,  $z_{py}$ ,  $z_{px}$ ,  $C_p$  определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.

8. На основании полученных зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$  сделать вывод о влиянии главного угла в плане инструмента на составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ .

9. Оформить отчет по работе.

Таблица

№ под- группы	№ опы- та	Геометрия инструмента			Составляющие силы резания		
		$\alpha$	$\delta$	$\varphi$	$P_z$ , кН	$P_y$ , кН	$P_x$ , кН
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
2	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
3	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
4	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
5	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

## 2.4. Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета;

Отчет должен содержать следующие разделы:

2.4.1. Название, цель и содержание работы.

2.4.2. Техническая характеристика станка.

2.4.3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.

2.4.4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.

2.4.5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).

2.4.6. Зависимость составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ , от исследуемого геометрического параметра инструмента /таблица/.

2.4.7. Графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$  в двойных логарифмических координатах.

2.4.8. Расчеты показателей степени  $Z_{pz}$ ,  $Z_{py}$ ,  $Z_{px}$ , и коэффициентов  $C_p$  в выражениях 2.1 и 2.2.

2.4.9. Зависимости  $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$  2.1, 2.2 с рассчитанными значениями  $Z_{pz}$ ,  $Z_{py}$ ,  $Z_{px}$ , и  $C_p$ .

2.4.10. Выводы.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

#### «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ГЛАВНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ И РАДИУСА ПЕРЕХОДНОГО ЛЕЗВИЯ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ»

**Цель:** практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния геометрии инструмента на силовые параметры обработки.

#### 3.1. Теоретическая часть

Угол наклона главного лезвия изменяет положение передней поверхности резца относительно системы координат XYZ, увеличивает рабочую длину главного лезвия и в зависимости от знака угла  $\lambda$  увеличивает или уменьшает коэффициент усадки стружки. На главную составляющую силы резания изменение угла  $\lambda$  влияет сравнительно мало: увеличение отрицательного угла практически не сказывается на изменении силы  $P_z$ ; при увеличении положительного угла к сила  $P_z$  несколько возрастает, если  $\lambda > 30^\circ$ . На силы  $P_y$  и  $P_x$  угол  $\lambda$  влияет значительно сильнее. При переходе от отрицательных углов  $\lambda$  к положительным, радиальная сила возрастает, а осевая уменьшается. По данным А. П. Соколовского, влияние положительного угла  $\lambda$  при обработке углеродистой стали выражается формулами

$$\begin{aligned} P_z &= P_{z0}(1 + 0,007\lambda); \\ P_y &= P_{y0}(1 + 0,02\lambda); \\ P_x &= P_{x0}(1 + 0,01\lambda) \end{aligned}$$

в которых  $P_{z0}$ ,  $P_{y0}$  и  $P_{x0}$  — значения сил при  $\lambda = 0$ .

Увеличение радиуса  $r$  переходного лезвия вызывает уменьшение переходных углов в плане в различных точках лезвия. Кроме того, увеличение длины переходного лезвия ухудшает условия стружкообразования у вершины резца. Влияние радиуса переходного лезвия может быть описано формулой

$$P_i = C_{P_i} r^{z_{P_i}}$$

С некоторым приближением, в расчетах принимают выражение

$$\begin{aligned} P_z &= C_{P_z} \lambda^{x_{P_z}} r^{y_{P_z}} k_{P_z}, \\ P_y &= C_{P_y} \lambda^{x_{P_y}} t^{y_{P_y}} k_{P_y}, \\ P_x &= C_{P_x} \lambda^{x_{P_x}} t^{y_{P_x}} k_{P_x}, \end{aligned} \tag{3.1}$$

### 3.2. Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от радиуса переходного лезвия могут быть определены по следующей формуле (3.1), где  $C_{pi}$ , – постоянный коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

$x_{pi}, y_{pi}$ , – показатели степени, учитывающий влияние параметра;

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражении /3.1/ для конкретных условий обработки могут быть определены по однофакторной или многофакторной методике, суть которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение /3.1/ для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

$$\begin{aligned} P_z &= C'_{p_z} \lambda^{x_{p_z}} & r - const \\ P_z &= C''_{p_z} r^{y_{p_z}} & \lambda - const \end{aligned} \quad (3.1 \text{ a})$$

Графически выражение /3.1, а/ изображается в виде графика степенной функции. Нахождение коэффициентов  $C_p$  и показателей степеней  $z_p$  таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифмирования

$$\begin{aligned} \ln P_z &= \ln C''_{p_z} + y_{p_z} \ln r \\ \ln P_z &= \ln C'_{p_z} + x_{p_z} \ln \lambda \end{aligned} \quad (3.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$y = a + bx. \quad (3.3)$$

Таким образом, выражения /3.2/ в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции  $P_z = f(\lambda, r)$  к горизонтальной оси

$$y_{pi} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1}. \quad (3.4)$$

$C_{pi}$ , – коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей  $P_i$  силы

резания при единичных значениях  $t, s, v$ .

### 3.3. Порядок выполнения работы

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра- сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания  $P_z, P_y$  и  $P_x$  в зависимости от изменения радиуса переходного лезвия инструмента при постоянных глубине резания  $t = 1,0$  мм, подаче  $s = 1,0$  мм/об и скорости резания  $v = 20$  м/мин и занести данные в таблицу 3.1.
6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\lambda, r)$ .
7. На основании данных таблицы 3.1. и построенных графиков графо-аналитическим методом определить коэффициенты  $C$  и показатели степени  $x_{Pi}, y_{Pi}$  частных и обобщенной зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показатели степени  $x_{Pi}, y_{Pi}$  определяются как  $\operatorname{tg}\alpha_1, \operatorname{tg}\alpha_2$ , и т.д /выражение /3.4/, а коэффициенты  $C$  - подстановкой в выражения 3.1 и 3.2 значений величин составляющих  $P_z, P_y, P_x$  при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из таблицы. Каждое из значений  $x_{Pi}, y_{Pi}, C_p$  определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.
8. На основании полученных зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\lambda, r)$  сделать вывод о влиянии главного угла в плане инструмента на составляющие силы резания  $P_z, P_y, P_x$ .
9. Оформить отчет по работе.

### 3.4. Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета;

Отчет должен содержать следующие разделы:

3.4.1. Название, цель и содержание работы

3.4.2. Техническая характеристика станка.

3.4.3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.

3.4.4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.

3.4.5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).

3.4.6. Зависимость составляющих силы резания  $P_z, P_y, P_x$ , от исследуемого геометрического параметра инструмента /таблица/.

3.4.7. Графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(\lambda, r)$  в двойных логарифмических координатах.

3.4.8. Расчеты показателей степени  $x_{P_i}, y_{P_i}$  и коэффициентов  $C_p$  в выражениях 3.1 и 3.1а.

3.4.9. Частные и обобщенные зависимости  $P_z(P_y, P_x) = f(\lambda, r)$  3.1, 3.1а с рассчитанными значениями  $x_{P_i}, y_{P_i}$  и  $C_p$ .

3.4.10. Выводы.

Таблица

№ под- группы	№ опыта	Геометрия инструмента			Составляющие силы резания			
		$\lambda$	$\delta$	г	$P_z$ , кН	$P_y$ , кН	$P_x$ , кН	
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	2							
	3							
	4							
	5							
	2							
	3							
	4							
	5							
	3	2						
		3						
4								
5								
2								
3								
4								
5								
4		2						
		3						
	4							
	5							
	2							
	3							
	4							
	5							
	5	2						
		3						
4								
5								
2								
3								
4								
5								

## 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

### «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ»

**Цель:** практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния механических свойств конструкционного материала на силовые параметры обработки.

#### 4.1. Теоретическая часть

Механические свойства обрабатываемого материала весьма сложно и противоречиво влияют на составляющие силы резания. С одной стороны, повышение прочности и твердости обрабатываемого материала увеличивает угол сдвига, что уменьшает коэффициент усадки стружки и величину относительного сдвига. В результате этого уменьшаются работы деформации и стружкообразования и, как следствие, составляющие силы резания. С другой стороны, с повышением прочности и твердости напряжения на условной плоскости сдвига возрастают, что увеличивает работы деформации, стружкообразования и составляющие силы резания. В зависимости от того, что является преобладающим, силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  при увеличении прочности обрабатываемого материала могут и возрастать и уменьшаться. Если при увеличении прочности материала коэффициент усадки стружки уменьшается сравнительно мало, то силы  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  возрастают, а если увеличение прочности сопровождается значительным снижением коэффициента усадки, то это приводит к уменьшению сил. Несмотря на то, что предел прочности на растяжение меди намного уступает стали 20Х, сила  $P_z$  при резании обоих материалов одинакова. Это вызвано тем, что коэффициент усадки стружки для стали 20Х примерно во столько раз меньше, чем для меди, во сколько раз больше касательные напряжения на условной плоскости сдвига. Значительное увеличение силы  $P_z$  при резании стали 1Х18Н9Т по сравнению со сталью 20Х связано с тем, что уменьшение коэффициента усадки стружки для стали 1Х18Н9Т отстает от возрастания напряжений сдвига. Несмотря на то, что пределы прочности сплавов ВТ1 и ВТ3 соответственно равны 61 и 103 кгс/мм<sup>2</sup>, силы  $P_z$  при резании обоих сплавов практически одинаковы. Причиной этого является то, что коэффициент усадки стружки при резании сплава ВТ3 в 2 раза меньше, чем сплава ВТ1. Сталь 20Х имеет предел прочности  $\sigma_b = 51$  кгс/мм<sup>2</sup>, однако при резании ее сила  $P_z$  выше, чем при резании более прочного сплава ВТ3, что также связано со значительно большим значением коэффициента  $K_L$  для стали 20Х. Приведенные примеры показыва-

ют, что одни прочностные характеристики обрабатываемых материалов различного химического состава не могут служить объективным показателем при оценке сил, возникающих при резании.

Для групп материалов, однородных по своему химическому составу, увеличение напряжений сдвига при увеличении прочности, как правило, значительно опережает уменьшение коэффициента усадки стружки. Поэтому составляющие силы резания растут при увеличении предела прочности при растяжении или твердости по Бринелю. Это позволило получить приближенные формулы, которые обеспечивают достаточную точность при инженерных расчетах составляющих силы резания. При резании пластичных материалов расчет сил  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  ведут по  $\sigma_B$  или НВ; при резании хрупких материалов за основу берется твердость НВ. Структура формул имеет вид:

$$\begin{aligned} P_i &= C_{pi} \sigma_B^{z_{pi}} && \text{при обработке сталей;} \\ P_i &= C_{pi} (\text{НВ})^{z_{pi}} && \text{при обработке чугуна.} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Материал режущей части резца на составляющие силы резания влияет сравнительно слабо. Различные инструментальные материалы имеют различный средний коэффициент трения на передней поверхности, что при одинаковой нормальной силе дает различную величину силы трения и коэффициента усадки стружки. Поэтому с уменьшением среднего коэффициента трения на передней поверхности составляющие силы резания становятся меньше. Средние коэффициенты трения при резании быстрорежущими сталями и твердыми сплавами группы ВК приблизительно одинаковы. Поэтому сила  $P_z$  при резании резцами из быстрорежущих сталей и одно-карбидных твердых сплавов также одинакова. С увеличением содержания карбидов титана в твердом сплаве средний коэффициент трения уменьшается, вследствие чего сила  $P_z$  при точении резцами, оснащенными пластинками из двухкарбидных сплавов, на 5—10% меньше, чем оснащенными пластинками из однокарбидных сплавов. Наибольшее снижение силы  $P_z$  дает сплав Т30К4 и наименьшее — сплав Т5К10.

## 4.2. Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от типа конструкционного материала могут быть определены по следующей формуле (4.1), где  $C_{pi}$ , — постоянный коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

$z_{pi}$ , — показатель степени, учитывающий влияние свойств материала;

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражении /4.1/ для конкретных условий обработки мо-

гут быть определены по однофакторной или многофакторной методике, суть которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение /4.1/ для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

Графически выражение /4.1/ изображается в виде графика степенной функции. Нахождение коэффициентов  $C_p$  и показателей степеней  $z_p$  таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифмирования

$$\ln P_i = \ln C_{p_i} + z_{p_i} \ln \sigma_B . \quad (4.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$y = a + bx . \quad (4.3)$$

Таким образом, выражения /4.2/ в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции  $P_z = f(\sigma)$  к горизонтальной оси

$$z_{p_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} \quad (4.4)$$

$C_{p_i}$ , – коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей  $P_i$  силы резания при единичных значениях  $t$ ,  $s$ ,  $v$ .

### 4.3. Порядок выполнения работы

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра- сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  в зависимости от применяемых

конструкционных материалов при постоянных глубине резания  $t = 1,0$  мм, подаче  $s = 1,0$  мм/об и скорости резания  $v = 20$  м/мин и занести данные в таблицу.

6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(HB, \sigma)$ .

7. На основании данных таблицы и построенных графиков графоаналитическим методом определить коэффициенты  $C_{P_i}$  и показатели степени  $Z_{pz}, Z_{py}, Z_{px}$  частных и обобщенной зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показатели степени  $Z_{pz}, Z_{py}, Z_{px}$  определяются как  $\operatorname{tg}\alpha_1, \operatorname{tg}\alpha_2, \operatorname{tg}\alpha_3$  и т.д. /выражение /4.4/, а коэффициенты  $C_{P_i}$  - подстановкой в выражения (4.1) и (4.2) значений величин составляющих  $P_z, P_y, P_x$  при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из таблицы. Каждое из значений  $Z_{pz}, Z_{py}, Z_{px}, C_p$  определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.

8. На основании полученных зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(HB, \sigma)$  сделать вывод о влиянии механических свойств конструкционного материала на составляющие силы резания  $P_z, P_y, P_x$ .

9. Оформить отчет по работе.

Таблица

№ се- рии	№ опыта	Геометрия инструмента	Параметры кон- струкционного материала		Составляющие силы реза- ния		
			$\lambda$	НВ	$\sigma_B$	$P_z$ , кН	$P_y$ , кН
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
2	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
3	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
4	2						
	3						
	4						
	5						
	5	2					
3							
4							
5							

#### 4.4. Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета;

Отчет должен содержать следующие разделы

4.4.1. Название, цель и содержание работы

4.4.2. Техническая характеристика станка.

4.4.3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.

4.4.4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.

4.4.5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).

4.4.6. Зависимость составляющих силы резания  $P_z, P_y, P_x$ , от исследуемого параметра конструкционного материала /таблица/.

4.4.7. Графики зависимостей  $P_z(P_y, P_x) = f(HB, \sigma)$  в двойных логарифмических координатах.

4.4.8. Расчеты показателей степени  $z_{pz}, z_{py}, z_{px}$ , и коэффициентов  $C_p$  в выражениях 4.1 и 4.2.

4.4.9. Зависимости  $P_z(P_y, P_x) = f(HB, \sigma)$  4.1, 4.2 с рассчитанными значениями  $z_{pz}, z_{py}, z_{px}$ , и  $C_p$ .

4.4.10. Выводы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – С 11-52.

2. Вульф, А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – Л.: Машиностроение, 1973. – С. 35-73.

3. Грановский, Г. Г. Резание металлов / Г. Г. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. школа, 1985.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦОМ С ТВЕРДОСПЛАВНОЙ ПЛАСТИНОЙ» .....	3
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА В ПЛАНЕ ИНСТРУМЕНТА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦОМ С ТВЕРДОСПЛАВНОЙ ПЛАСТИНОЙ» .....	8
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ГЛАВНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ И РАДИУСА ПЕРЕХОДНОГО ЛЕЗВИЯ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ» .....	13
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ» .....	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК. ....	23

# **ТЕОРИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ для студентов направления  
15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных  
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном  
машиностроительном производстве»), всех форм обучения

### **Составители:**

**Жачкин Сергей Юрьевич**  
**Краснова Марина Николаевна**

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Редактор Е. А. Четвертухина

Подписано к изданию 28.10.2021.

Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14