

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. П. Табаков, Д. И. Сагитов**

# **МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Практикум по лабораторным работам  
и практическим занятиям

Ульяновск  
УлГТУ  
2015

УДК 621.9.025 (075)

ББК 34.663 Я7

Т 12

Рецензент доктор технических наук, профессор  
кафедры «Технология машиностроения» Унянин А. Н.

*Рекомендовано научно-методической комиссией  
машиностроительного факультета в качестве прак-  
тикума по лабораторным работам и практическим  
занятиям*

**Табаков, В. П.**

Т 12 Методы механической и физико-технической обработки : практикум  
по лабораторным работам и практическим занятиям /

В. П. Табаков, Д. И. Сагитов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 42 с.

Практикум предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» при изучении дисциплины «Методы механической и физико-технической обработки» в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (регистрационный № 827, утвержден 24.12.2009 г.). В практикуме представлены лабораторные работы и практические занятия, охватывающие основные разделы курса «Методы механической и физико-технической обработки».

Работа подготовлена на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты».

**УДК 621.9.025 (075)**

**ББК 34.663 я7**

© Табаков В. П., Сагитов Д. И., 2015

© Оформление. УлГТУ, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	5
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	6
Лабораторная работа №1. Геометрия спирального сверла.....	6
Лабораторная работа №2. Исследование влияния элементов режима резания на силы резания при торцовом фрезеровании .....	11
Лабораторная работа №3. Исследование влияния износостойких покрытий на характеристики процесса резания.....	16
Лабораторная работа №4. Исследование влияния износостойкого покрытия на интенсивность изнашивания режущего инструмента .....	20
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	23
Практическое занятие № 1. Расчет элементов режима резания на операциях сверления и фрезерования.....	23
Практическое занятие № 2. Исследование силовых зависимостей при сверлении .....	28
Практическое занятие № 3. Исследование силовых зависимостей при цилиндрическом фрезеровании.....	30
Практическое занятие № 4. Исследование силовых зависимостей при круглом врезном шлифовании .....	32
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	34
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	35

## ВВЕДЕНИЕ

Обработка резанием является наиболее распространенной операцией при изготовлении деталей из различных материалов и основным на сегодняшний день видом обработки металлов путем снятия стружки.

Знания, полученные при изучении курса «Методы механической и физико-технической обработки», необходимы при конструировании металлорежущих станков, инструментов и приспособлений, а также при проектировании более совершенных технологических процессов обработки деталей.

Главной целью выполнения лабораторных работ и практических занятий является усвоение и закрепление теоретических знаний студентов, полученных на лекциях.

Лабораторные работы выполняются следующим образом. Вначале студенты изучают общие сведения по теме лабораторной работы и уясняют цель работы, а затем тщательно изучают методику ее выполнения. После обсуждения с преподавателем содержания лабораторной работы и правил по технике безопасности при ее выполнении студенты выполняют экспериментальную часть работы в присутствии преподавателя.

Закончив экспериментальную часть работы, студенты обрабатывают результаты и составляют отчет по форме протоколов, приведенных в приложении. В заключение студенты должны защитить выполненную лабораторную работу, ответив преподавателю на вопросы и показав усвоение изученного материала.

Практические занятия проводятся с использованием персональных компьютеров со специальным программным обеспечением. После уяснения цели практического занятия студенты получают задание, которое выполняют на персональных компьютерах.

Выполнив все задания, оформляется протокол по форме, приведенной в приложении. Делаются выводы и производится защита работы, путем ответа преподавателю на вопросы.

Методические указания составлены с использованием литературных источников [1-8].

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

С целью исключения травматизма, а также поломки оборудования и приборов, каждый студент должен ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении лабораторной работы.

При выполнении лабораторной работы запрещается:

- приступать к выполнению лабораторной работы без предварительного ознакомления с правилами техники безопасности;
- включать и выключать станок без разрешения учебного мастера;
- находиться в зоне отброса стружки и вращающейся детали;
- отводить или сметать стружку без применения специальных крючков и щеток;
- касаться движущихся и вращающихся частей станка, заготовки и инструмента;
- облакачиваться на станок и передавать что-либо над станком или вращающейся деталью.

Обязанности студента:

- выполнять только ту работу, которая поручена ему преподавателем или учебным мастером;
- не мешать работе других студентов;
- быть внимательным и аккуратным во время выполнения работы;
- не отвлекаться самому и не отвлекать других посторонними разговорами;
- сдавать свое рабочее место чистым и в полном порядке;
- знать места расположения средств огнетушения и правила пользования ими.

# ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ГЕОМЕТРИЯ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА

### Цель работы

Целью работы является изучение конструкции и геометрических параметров спирального сверла.

### Общие сведения о геометрии спирального сверла

Сверление является одним из самых распространенных методов обработки отверстий. Сверла применяют для получения отверстий как в сплошном материале (для сверления сквозных и глухих отверстий), так и для рассверливания уже имеющихся отверстий.

По конструкции сверла делятся на перовые, спиральные, центровые, для глубоких отверстий и другие. Наиболее распространенными являются спиральные сверла, которые и изучаются в данной работе.

К геометрическим параметрам сверла относятся: главный передний угол  $\gamma$ , главный задний угол  $\alpha$ , угол наклона винтовой канавки  $\omega$ , угол наклона поперечной кромки  $\psi$  и двойной угол при вершине сверла  $2\varphi$  в плане.

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  – это угол между касательной к винтовой линии канавки и осью сверла.

Угол наклона поперечной кромки  $\psi$  заключен между проекциями главной режущей кромки и поперечной кромки на плоскость, перпендикулярную к оси сверла.

Двойной угол в плане при вершине сверла  $2\varphi$  – это угол между проекциями главных режущих кромок на плоскость, проходящую через ось сверла параллельно главным режущим кромкам. Определение заднего и переднего углов будет рассмотрено ниже.

### Содержание работы

После ознакомления с конструкцией сверла и принципом работы измерительного инструмента необходимо измерить все конструктивные параметры сверла и углы сверла  $\omega$ ,  $\psi$ ,  $2\varphi$ . Результаты измерений заносятся в протокол (см. приложение 1).

## Измерение главного заднего угла

Главный задний угол сверла  $\alpha$  измеряется в главной секущей плоскости. Он заключен между касательной к задней поверхности сверла в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания (рис. 1).

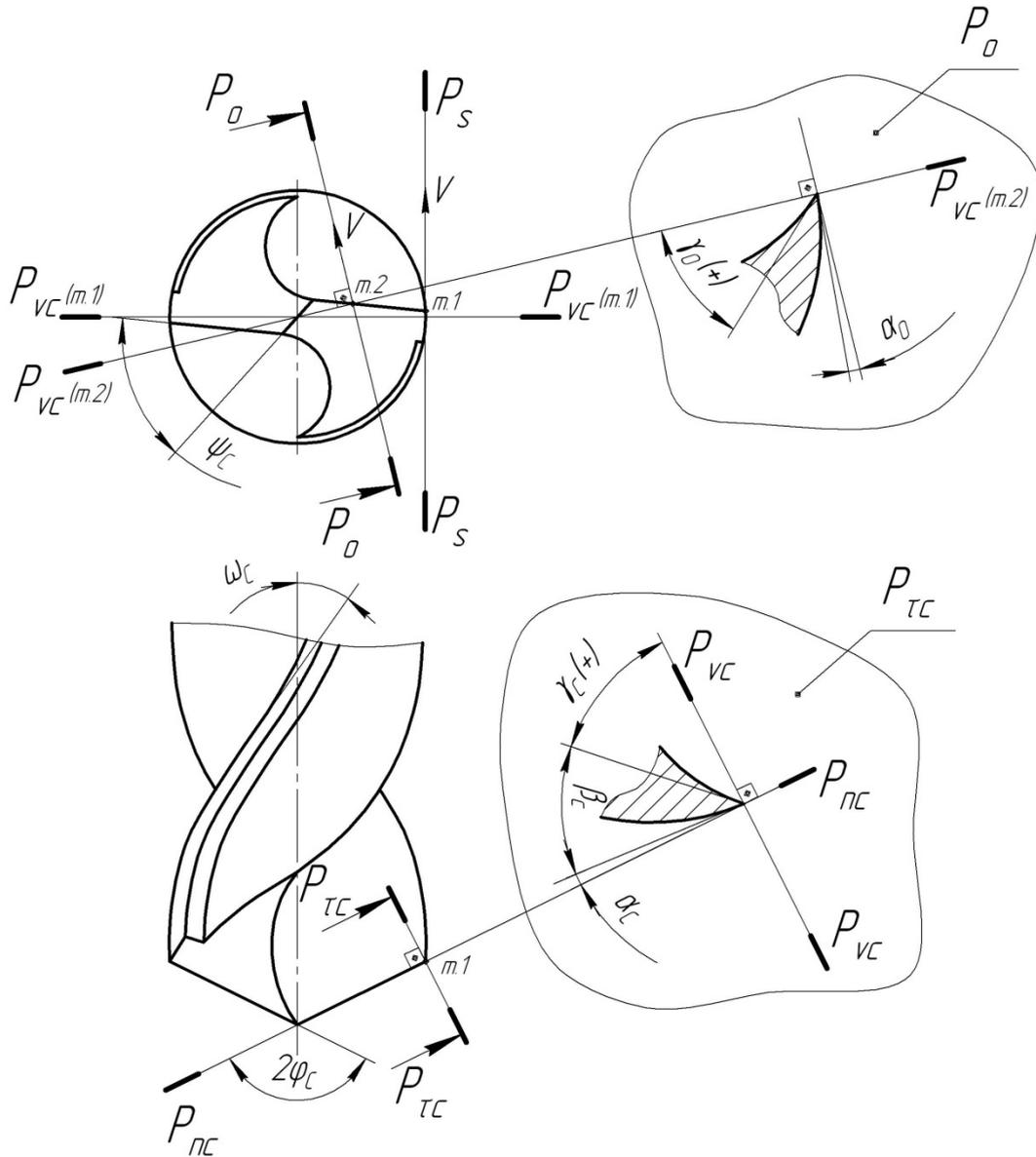


Рис. 1. Геометрия спирального сверла в статической системе координат

Однако в отличие от резца при существующих средствах измерения заднего угла его удобно задавать не в главной секущей плоскости, а в плоскости, касательной к образующей цилиндра, проходящего через рассматриваемую точку режущей кромки (плоскость  $P_s$ , рис. 1). Задний угол

сверла по длине режущей кромки есть величина переменная. В данной работе необходимо измерить задний угол для трех произвольно выбранных переменных диаметров сверла.

Измерение заднего угла сверла производится с помощью универсальной делительной головки (УДГ) и стойки с индикатором. Для этого сверло устанавливается в УДГ и с помощью индикатора определяется падение затылка задней поверхности в плоскости параллельной оси сверла при повороте его на угол  $\lambda = 10^\circ$ .

Результаты измерения заднего угла заносятся в протокол (см. приложение 1) и оформляются в виде зависимости  $\alpha = f(D)$  (рис. 2).

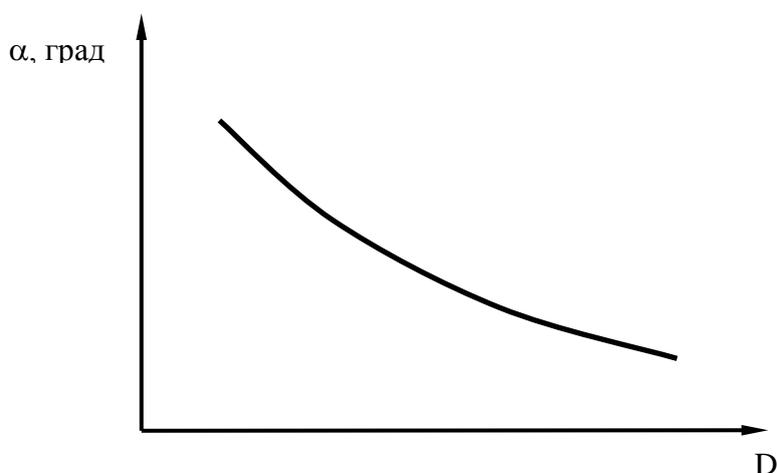


Рис. 2. Зависимость изменения заднего угла сверла от диаметра

Величина заднего угла определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{K}{l},$$

где  $K$  — показание индикатора, мм;  
 $l$  — длина дуги, равная пути перемещения ножки индикатора в мм.  
Величина  $l$  определяется как

$$l = D_x \cdot \lambda / 2,$$

где  $D_x$  — переменный диаметр сверла, на котором измеряется угол  $\alpha$ , мм;  
 $\lambda$  — угол поворота сверла в радианах.

### Определение главного переднего угла

Главный передний угол  $\gamma$  измеряется в главной секущей плоскости. Он заключен между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и основной плоскостью (рис. 1). Так как передняя поверхность сверла является винтовой поверхностью, то величина передних углов для всех точек режущей кромки не постоянна.

Передний угол  $\gamma_0$ , рассматриваемый в плоскости, параллельной оси сверла, равен углу наклона винтовой канавки  $\omega$ , который зависит от диаметра сверла. На рис. 3 представлена развертка сверла для различных диаметров. Как видно из рисунка, для любой точки режущей кромки

$$\operatorname{tg} \gamma_{0x} = \operatorname{tg} \omega_{0x} = \frac{\pi D_x}{H}.$$

где  $H$  – шаг винтовой канавки сверла.

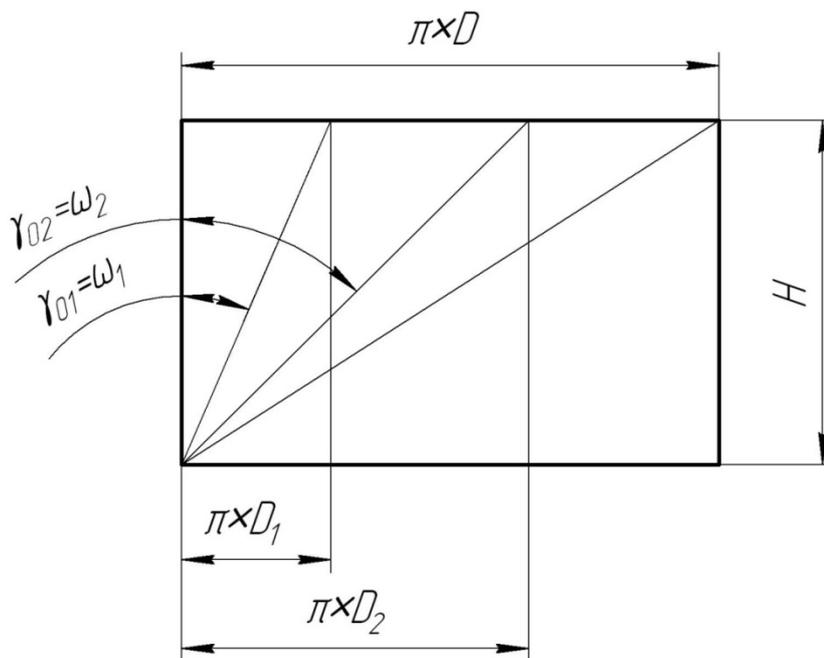


Рис. 3. Изменение переднего угла сверла по длине режущей кромки в сечении, параллельном оси сверла

В главной секущей плоскости передний угол определяется пересчетом по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{\operatorname{tg} \gamma_{0x}}{\sin \varphi}.$$

Передний угол  $\gamma$  определяется на тех же переменных диаметрах, что и задний угол  $\alpha$ . Результаты вычисления переднего угла заносятся в протокол (см. приложение 1) и оформляются в виде зависимости  $\gamma = f(D)$  (рис. 4).

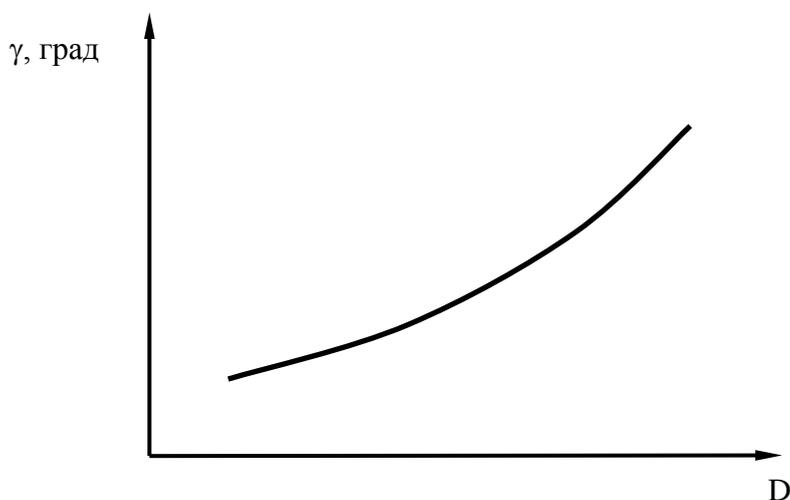


Рис. 4. Зависимость изменения переднего угла сверла от диаметра

### **Задание для самостоятельного выполнения работы**

1. Ознакомиться с содержанием и методикой проведения работы.
2. Изучить геометрию и конструктивные параметры спирального сверла.
3. Измерить конструктивные параметры сверла и зарисовать эскиз сверла с простановкой линейных и угловых размеров.
4. Измерить величину заднего угла для различных точек режущей кромки и построить зависимость  $\alpha = f(D)$ .
5. Подсчитать величину переднего угла для тех же диаметров и построить зависимость  $\gamma = f(D)$ .
6. Объяснить изменение заднего и переднего углов по длине режущей кромки.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение углов сверла  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $2\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\psi$ .
2. Назовите и дайте определения плоскостям, в которых измеряются углы сверла.
3. Объясните изменение переднего и заднего угла сверла по длине режущей кромки.
4. Перечислите особенности процесса сверления по сравнению с другими методами обработки.
5. Нарисуйте геометрические параметры поперечной кромки сверла.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

#### Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение влияния элементов режима резания на силы резания при фрезеровании.

#### Общие сведения о силах, действующих на режущие зубья торцовой фрезы

При фрезеровании на режущие зубья фрезы действуют силы, величина которых определяется сопротивлением обрабатываемого материала. Схема сил, действующих на зуб торцовой фрезы, представлена на рис. 1.

Равнодействующую всех сил, действующих на торцовую фрезу со стороны обрабатываемого материала, можно разложить на три взаимно перпендикулярные составляющие:  $P_Z$  – главную (касательную) составляющую силы резания;  $P_Y$  – радиальную составляющую, приложенную перпендикулярно оси фрезы;  $P_X$  – осевую составляющую, действующую вдоль оси фрезы.

Силы  $P_Z$ ,  $P_Y$  и  $P_X$  в общем случае неодинаковы. Величина силы  $P_Z$  определяется в основном нормальной силой, действующей на передней поверхности резца. Силы  $P_Y$  и  $P_X$  зависят от величины и направления силы трения. Поэтому соотношение между силами  $P_Z$ ,  $P_Y$  и  $P_X$  изменяется при изменении обрабатываемого материала, геометрических параметров фрезы и элементов режима резания. Главная составляющая силы резания  $P_Z$  определяет основную работу резания. Реакция главной составляющей силы резания  $P_Z$  создает момент сопротивления резанию:

$$M = \frac{P_Z \cdot D}{2000},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Зависимость силы  $P_Z$  от процесса резания при торцовом фрезеровании в общем виде выражается следующей зависимостью:

$$P_Z = \frac{C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S_z^{y_{pz}} \cdot B^{q_{pz}} \cdot Z}{D^{u_{pz}} \cdot n^{\omega_{pz}}} \cdot k_{pz}, \quad (1)$$

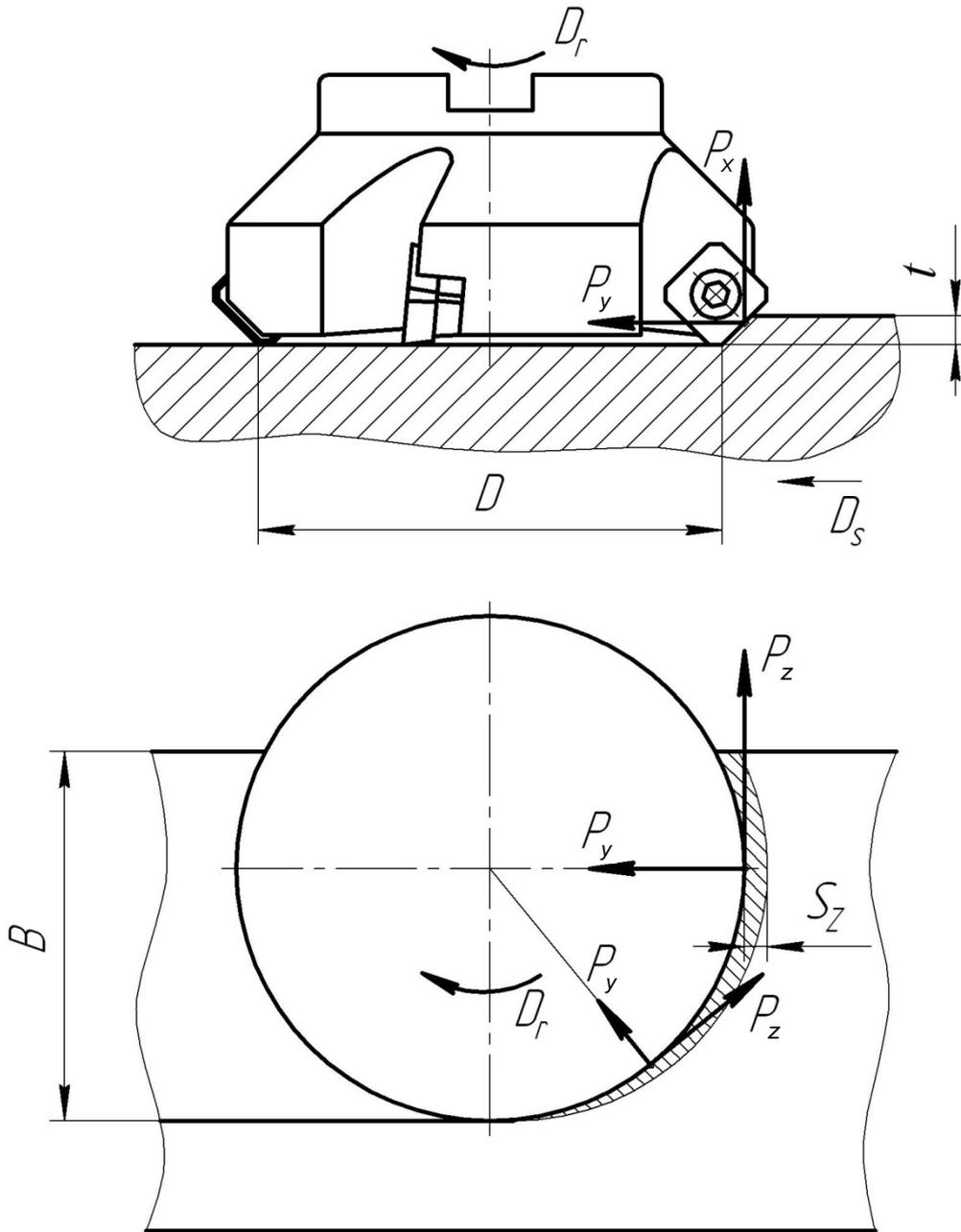


Рис. 1. Схема сил, действующих на зуб торцовой фрезы

где  $C_{pz}$  – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала;

$X_{pz}$ ,  $Y_{pz}$ ,  $Q_{pz}$ ,  $u_{pz}$ ,  $\omega_{pz}$  – показатели степени, учитывающие влияние глубины резания, подачи, ширины фрезерования, диаметра и частоты вращения фрезы на силу  $P_z$ ;

$k_{pz}$  – общий поправочный коэффициент;

$z$  – число зубьев фрезы;

$t$  – глубина резания, мм;

$S_Z$  – подача на зуб, мм/зуб;  
 $B$  – ширина фрезерования, мм;  
 $D$  – диаметр фрезы, мм;  
 $n$  – частота вращения фрезы, об/мин.

Силы  $P_Y$  и  $P_X$  подсчитываются по аналогичным зависимостям.

По силе  $P_Z$  рассчитывается механизм главного движения станка и мощность электродвигателя, необходимая для осуществления процесса резания. Радиальная сила  $P_Y$  оказывает давление на подшипники шпинделя станка и изгибает, совместно с силой  $P_Z$ , оправку фрезы.

Как видно из формулы (1) с увеличением  $t$ ,  $S_Z$ ,  $B$  и  $z$  сила  $P_Z$  возрастает, а с увеличением  $D$  – уменьшается. Рост силы  $P_Z$  с увеличением  $t$ ,  $S_Z$ ,  $B$  и  $z$  объясняется увеличением суммарной площади поперечного сечения среза. Уменьшение силы  $P_Z$  с ростом диаметра фрезы  $D$  связано с тем, что с увеличением диаметра при прочих одинаковых условиях уменьшается толщина среза, а также количество зубьев, одновременно находящихся в работе. В итоге уменьшается суммарная площадь поперечного сечения среза.

### Содержание работы

Так как методики определения влияния элементов режима резания на составляющие усилия резания аналогичны, ограничимся изучением влияния элементов режима резания на величину только главной составляющей силы резания  $P_Z$ . Опыты проводятся на вертикально-фрезерном станке 6P12Б. Силы резания измеряются динамометром УДМ-600 с комплектом аппаратуры.

Эксперименты проводятся в следующей последовательности:

1. Определяется зависимость силы  $P_Z$  от глубины резания  $t$ . Эксперименты проводятся при переменных значениях глубины резания  $t_1, t_2, t_3, t_4$  и постоянных значениях скорости резания  $V$ , подачи  $S_Z$ , ширины фрезерования  $B$ .
2. Определяется зависимость силы  $P_Z$  от подачи  $S_Z$ . По аналогии с первой серией опытов измерение составляющей усилия резания проводится при переменной подаче  $S_1, S_2, S_3, S_4$  и постоянных значениях остальных параметров процесса резания.
3. Определяется зависимость силы  $P_Z$  от ширины фрезерования  $B$ . По аналогии с предыдущими сериями опытов составляющая усилия резания  $P_Z$  измеряется при переменных значениях  $B_1, B_2, B_3$  и  $B_4$  и при постоянных значениях остальных параметров процесса резания.

Результаты полученных экспериментальных данных заносятся в протокол (см. приложение 2).

На основе полученных экспериментальных данных в двойной логарифмической системе координат строятся зависимости  $P_Z=f(t)$ ,  $P_Z=f(S_Z)$ ,  $P_Z=f(B)$  (рис. 2). Через опытные точки проводят прямую линию так, чтобы возможно большее число точек равномерно группировалось вокруг прямой. Тогда показатели степени при глубине, подаче и ширине фрезерования определяются как тангенс угла наклона прямых линий к соответствующей оси координат:

$$x_{pz} = \operatorname{tg}\alpha_1; \quad y_{pz} = \operatorname{tg}\alpha_2; \quad q_{pz} = \operatorname{tg}\alpha_3.$$

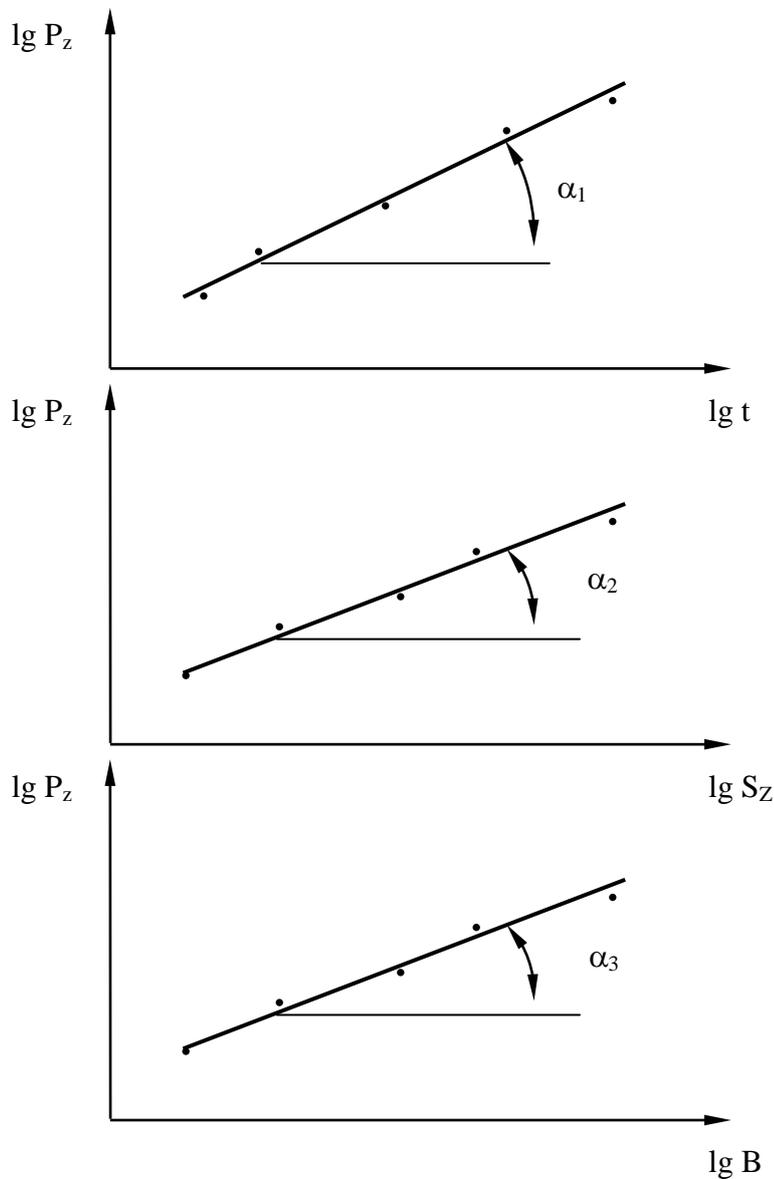


Рис. 2. Зависимости изменения составляющей силы резания  $P_Z$  от глубины резания  $t$ , подачи  $S_Z$  и ширины фрезерования  $B$

### **Задание для самостоятельного выполнения работы**

1. Ознакомиться с аппаратурой, методикой и содержанием работы.
2. Выполнить эксперименты по изучению влияния элементов режима резания на составляющую усилия резания  $P_Z$ .
3. По результатам эксперимента построить графики функциональных зависимостей.
4. Рассчитать показатели степени при глубине  $x_{pz}$ , подаче  $y_{pz}$  и ширине фрезерования  $q_{pz}$ .
5. Сделать выводы о степени влияния элементов процесса резания на составляющую усилия резания  $P_Z$  и объяснить полученные результаты.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Изобразите на эскизе схему действия сил резания при торцовом фрезеровании.
2. Объясните влияние на составляющие силы резания при торцовом фрезеровании глубины, подачи и ширины фрезерования.
3. Объясните влияние на составляющие силы резания при торцовом фрезеровании диаметра и количества зубьев фрезы.
4. Напишите зависимость силы  $P_Z$  от процесса резания при торцовом фрезеровании и объясните ее.
5. Объясните методику обработки экспериментальных данных графо-аналитическим методом.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ**

#### **Цель работы**

Целью работы является определение влияния износостойких покрытий на степень пластической деформации и силы резания.

#### **Общие сведения о контактных процессах на передней поверхности**

К основным характеристикам процесса резания относятся степень пластической деформации, силы резания, температура, контактные характеристики – длина контакта, сила трения, контактное давление.

Влияние большинства условий резания на данные характеристики и, следовательно, на сам процесс стружкообразования, связано с соответствующим изменением контактных процессов на передней поверхности инструмента.

Характерными особенностями контакта стружки с передней поверхностью инструмента являются:

- различная химическая чистота поверхностей контакта. Эти поверхности могут быть весьма чистыми, практически свободными от окисных и адсорбированных пленок, но также могут быть покрыты столь значительными пленками различных соединений, что исключается непосредственное металлическое взаимодействие контактных поверхностей;
- неравномерное распределение контактных нагрузок (напряжений) на передней поверхности инструмента;
- изменение температуры контакта в широких пределах.

Из-за указанных особенностей скольжение стружки по передней поверхности может происходить в самых различных условиях, начиная с граничного трения без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки и кончая полным «схватыванием» контактных поверхностей со значительной пластической деформацией контактного слоя стружки.

Процесс трения при резании хорошо описывается двучленным законом трения. Согласно молекулярно-механической теории, трение имеет двойственную природу. Оно обусловлено объемным деформированием материала и преодолением молекулярных связей. Объемное деформирование связано с внедрением более твердых элементов поверхности в мягкое контртело; молекулярные связи представляют собой силы сцепления, дей-

ствующие между атомами двух контактируемых тел. Таким образом, сила трения  $F$  выражается зависимостью:

$$F = F_{\text{деф}} + F_{\text{мол}} = \mu_0 N + F_{\text{мол}},$$

где  $F_{\text{деф}}$  – деформационная составляющая силы трения;  
 $F_{\text{мол}}$  – адгезионная составляющая силы трения, зависящая от сил молекулярного взаимодействия и истинной площади контакта;  
 $\mu_0$  – коэффициент трения;  
 $N$  – нормальная сила.

Трение играет важную роль в износе режущего инструмента. Высокие удельные нагрузки и температура, действующие на контактных поверхностях инструмента, способствуют схватыванию инструментального и обрабатываемого материалов, что в конечном итоге отражается на работоспособности инструмента. Изменение условий трения на контактных площадках инструмента влияет на напряженное и деформированное состояние зоны стружкообразования, на распределение сил резания на поверхностях резца, на температуру резания. Одним из путей изменения условий трения на контактных площадках инструмента является нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий. Износостойкие покрытия, обладающие высокой твердостью износостойкостью, низкой физико-химической активностью по отношению к обрабатываемому материалу, способствуют снижению силы трения, температуры на контактных площадках инструмента и в конечном итоге повышают его стойкость.

### Содержание работы

Опыты выполняются на токарно-винторезном станке мод.16К20. Резание осуществляется резцами с механическим креплением твердосплавных пластин без покрытия и с различными износостойкими покрытиями. В качестве покрытий могут использоваться различные тугоплавкие соединения на основе титана ( $\text{TiN}$ ,  $\text{TiCN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{TiZrN}$  и т.п.). Степень пластической деформации оценивается по изменению коэффициента укорочения стружки при резании инструментом без покрытия и с покрытием. Коэффициент укорочения стружки определяется по отношению длины срезаемого слоя к длине стружки или весовым методом по формуле

$$K = \frac{Q}{S \cdot t \cdot L_c \cdot \rho},$$

где  $Q$  – вес кусочка стружки, мг;  
 $S$  – подача, мм/об;

$t$  – глубина резания, мм;

$L_c$  – длина кусочка стружки, мм;

$\rho$  – плотность материала стружки, мг/мм<sup>3</sup> (для стали  $\rho \approx 7,8$  мг/мм<sup>3</sup>).

Составляющие силы резания измеряются с помощью динамометра УДМ - 600 с комплектом регистрирующей аппаратуры.

Эксперименты по влиянию износостойких покрытий на характеристики процесса резания проводятся в два этапа.

На первом этапе определяется влияние износостойких покрытий на коэффициент укорочения стружки. В данной серии опытов при постоянной скорости и глубине резания и переменной подаче ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) измеряется коэффициент укорочения стружки для трех резцов: без покрытия и с двумя разными покрытиями. Результаты полученных данных заносятся в протокол (см. приложение 3) и оформляются в виде зависимостей (рис. 1).

На втором этапе определяется влияние покрытий на силы резания. Эксперименты проводятся в той же последовательности, что и в первой серии. Результаты измерения сил резания заносятся в протокол (см. приложение 3) и также оформляются в виде зависимостей  $K_L = f(S)$ ,  $P_Z = f(S)$ ,  $P_Y = f(S)$  (рис. 1).

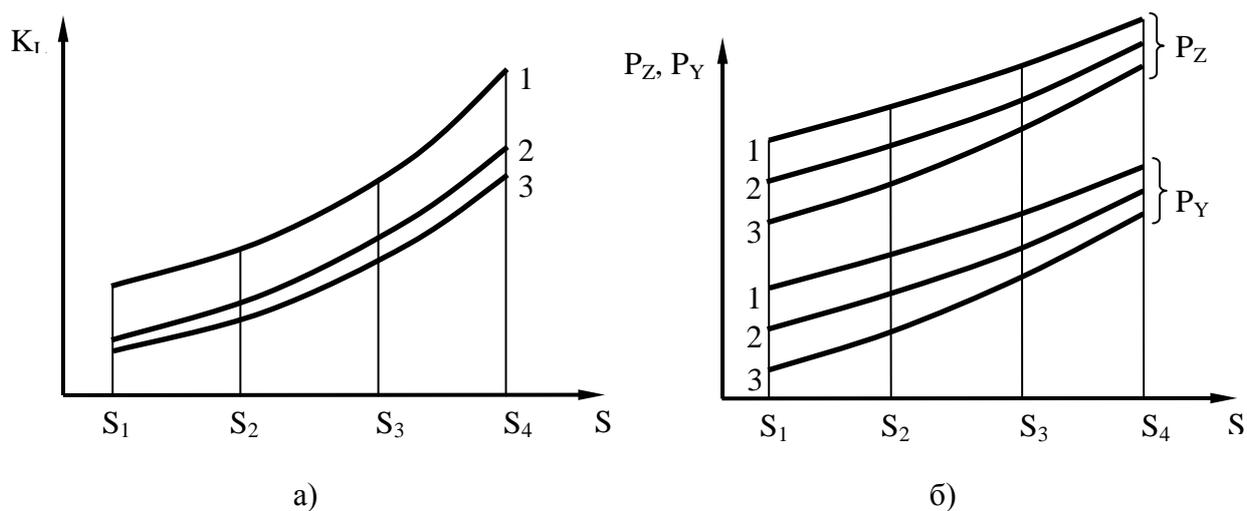


Рис. 1. Влияние износостойких покрытий на коэффициент укорочения стружки (а) и силы резания (б): 1 – инструмент без покрытия; 2, 3 – инструменты с покрытием

### Задание для самостоятельного выполнения работы

1. Ознакомиться с аппаратурой, методикой и содержанием работы.
2. Провести эксперименты по влиянию износостойких покрытий на коэффициент укорочения стружки и силы резания.

3. По экспериментальным данным построить графики функциональных зависимостей.
4. Объяснить полученные функциональные зависимости.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что характеризует коэффициент укорочения стружки?
2. Какими методами можно измерить коэффициент укорочения стружки? Напишите и объясните формулы для определения коэффициента укорочения стружки.
3. Назовите и охарактеризуйте зоны пластической деформации. Объясните поведение металла в этих зонах.
4. Объясните методику проведения экспериментов по определению коэффициента укорочения стружки и силы резания.
5. Объясните влияние скорости резания и подачи на коэффициент укорочения стружки и силы резания.
6. Назовите методы нанесения твердых износостойких покрытий и области их применения.
7. Перечислите основные свойства твердых износостойких покрытий.
8. Охарактеризуйте влияние твердых износостойких покрытий на характеристики процесса резания: коэффициент трения, степень пластической деформации, температуру резания, силы резания.

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

### **Цель работы**

Целью работы является экспериментальное определение влияния износостойкого покрытия на износ.

### **Общие сведения о методах повышения режущего инструмента**

Повышение стойкости режущего инструмента является одной из самых важных проблем обработки металлов резанием, связанной с повышением производительности обработки, точности и качества обработанной поверхности детали.

К мероприятиям, направленным на увеличение стойкости режущего инструмента, можно отнести:

- создание новых композиций инструментальных материалов более прочных, износостойких, теплостойких;
- усовершенствование конструкции и оптимизация геометрических параметров инструмента;
- применение эффективных СОЖ и способов подачи их в зону резания.

Одним из эффективных путей повышения стойкости режущего инструмента является нанесение на его рабочие поверхности тонких твердых покрытий. Данные покрытия, обладая высокой износостойкостью (высокой твердостью), теплостойкостью, стойкостью против окисления, низкой склонностью к схватыванию с обрабатываемым материалом, позволяют снизить износ инструмента и повысить его стойкость.

В качестве материалов для твердых покрытий могут быть выбраны высокотвердые карбидные, нитридные и боридные соединения переходных тугоплавких металлов, которые характеризуются высокой износостойкостью, небольшим коэффициентом трения, высокой теплостойкостью. Наибольшее распространение в качестве материала для износостойкого покрытия получили соединения титана (TiN, TiCN, TiC, TiZrN и т.п.).

### **Содержание работы**

Процесс резания осуществляется на токарно-винторезном станке модели 16К20 с постоянной подачей и глубиной и переменной скоростью резания. В качестве инструментального материала используются неперета-

чиваемые пластины твердого сплава без покрытия и с покрытием (TiN, TiCN, TiC, TiZrN и т.п.).

Опыты проводятся в два этапа – для резца без покрытия и с покрытием.

При различных скоростях резания, после определенного времени работы резца (3 – 5 минут), процесс резания прекращается, измеряется износ по задней грани ( $h_3$ ), длина пути резания.

Затем определяется величина относительного износа по формуле

$$\Delta = h_3 / L, \text{ мм/мм},$$

где  $L = \pi \cdot D \cdot l \cdot i / S$  – длина пути резания, мм;

$D$  – диаметр заготовки, мм;

$l$  – длина одного прохода, мм;

$S$  – подача, мм/об;

$i$  – число проходов.

Полученные результаты заносятся в протокол (см. приложение 4) и оформляются в виде зависимости  $\Delta = f(V)$  (рис. 1).

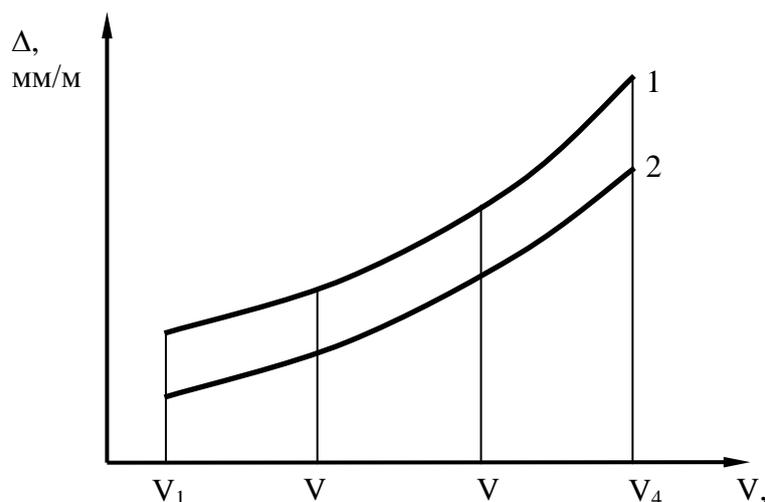


Рис. 1. Зависимость изменения относительного износа от скорости резания:

1 – инструмент без покрытия; 2 – инструмент с покрытием

### **Задание для самостоятельного выполнения работы**

1. Ознакомиться с содержанием и методикой выполнения работы.

2. Провести эксперименты для построения зависимости относительного износа инструмента от скорости резания.

3. По полученным экспериментальным данным построить зависимость  $\Delta = f(V)$ .
4. Сделать выводы по полученным графикам.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите и охарактеризуйте основные виды износа режущих инструментов.
2. Охарактеризуйте внешнее проявление изнашивания контактных площадок режущего инструмента.
3. Дайте определение относительного износа и объясните методику проведения экспериментов по его определению в зависимости от скорости резания.
4. Перечислите критерии износа режущих инструментов при черновой и чистовой обработке.
5. Объясните зависимость относительного износа от скорости резания для твердосплавного и быстрорежущего инструментов.
6. Опишите методику определения зависимости периода стойкости инструмента от скорости резания.

# **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ОПЕРАЦИЯХ СВЕРЛЕНИЯ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

### **Цель работы**

Назначение элементов режима резания при сверлении отверстий и фрезеровании

### **Содержание работы**

Расчет элементов режима резания проводится тремя способами: по эмпирическим формулам [6], по таблицам нормативов и каталогам фирм производителей режущего инструмента [7] и на персональном компьютере с использованием программы [8] и программы фирмы Сандвик Коромант «Sandvik CoroGuide».

Последовательность назначения элементов режима резания при сверлении и фрезеровании включает в себя следующие основные этапы: в первую очередь задаются максимальной и целесообразной глубиной резания, затем – максимально допустимой подачей и по выбранным глубине резания и подаче, задавшись определенной величиной периода стойкости, определяют допускаемую режущими свойствами инструмента скорость резания.

При фрезеровании заданный припуск снимается за один проход инструмента как при предварительной, так и окончательной обработке и только лишь при высоких требованиях к точности и шероховатости обработанной поверхности припуск снимается за два прохода.

При сверлении отверстий без ограничивающих факторов подача на оборот  $S_0$  выбирается максимально допустимой по прочности сверла. Факторы, ограничивающие подачу (глубина отверстия, качество обработанной поверхности отверстия, недостаточная жесткость технологической системы), учитываются поправочными коэффициентами. При рассверливании отверстий подача на оборот, рекомендованная для сверления, может быть увеличена в два раза. При зенкерении и развертывании подачи на оборот, при прочих одинаковых условиях, могут принимать большие значения, чем при сверлении и рассверливании. Это связано с тем, что при лучших условиях резания (отсутствие поперечной кромки, более равномерные углы вдоль режущей кромки, меньшая глубина резания), зенкер и развертка имеют и большее количество режущих кромок и при одной и той же подаче на одну кромку общая подача на оборот для них будет больше.

Исходной величиной подачи при предварительном (черновом) фрезеровании является величина ее на один зуб  $S_z$ , при окончательном (чистовом) фрезеровании – на один оборот  $S_o$ , по которой для дальнейшего расчета режима резания определяется подача на зуб  $S_z = S_o / z$ .

Выбранную величину подачи необходимо скорректировать по паспортным данным станка, выбрав ближайшее меньшее или большее значение для дальнейшего расчета режима резания (при фрезеровании по паспортным данным станка корректируется рассчитанная, после определения частоты вращения, скорость движения подачи  $V_s (S_{мин}) = S_o \cdot z \cdot n$ ).

По известным значениям глубины резания и подачи и выбранному периоду стойкости режущего инструмента определяется допускаемая скорость резания.

При сверлении отверстий

$$V_{доп} = \frac{C_V \cdot D^{X_V}}{T^M \cdot S^{Y_V}} \cdot K_Y.$$

При фрезеровании

$$V_{доп} = \frac{C_V \cdot D^q \cdot \omega^p}{T^m \cdot S_z^y \cdot t^x \cdot B^n \cdot z^n} \cdot K_V.$$

Сила резания и крутящий момент определяются по эмпирическим зависимостям с учетом полученных фактических значений подач и скорости резания. Осевую силу при сверлении можно рассчитать по формуле:

$$P_o = C_p \cdot D^{X_p} \cdot S_o^{Y_p} \cdot k_p,$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от свойств инструментального и обрабатываемого материалов и условий резания;

$X_p, Y_p$  – показатели степени влияния соответственно диаметра и подачи на осевую силу;

$k_p$  – коэффициент на измененные условия резания.

Формула для определения крутящего момента имеет вид:

$$M = C_M \cdot D^{X_M} \cdot S^{Y_M} \cdot k_M,$$

где  $C_M, Y_M$  и  $k_M$  – коэффициенты и показатели степени аналогичные как в формуле для определения осевой силы  $P_o$ .

Эмпирическая формула для определения силы резания при фрезеровании:

$$P_Z = \frac{C_{PZ} \cdot t^{X_{PZ}} \cdot S_Z^{Y_{PZ}} \cdot B^{Q_{PZ}} \cdot Z}{D^{U_{PZ}} \cdot n^{W_{PZ}}} \cdot K_{PZ},$$

где коэффициенты и показатели степени по аналогии с другими эмпирическими зависимостями, рассмотрены выше.

Силы резания и крутящий момент при сверлении и фрезеровании можно определить исходя из эмпирических зависимостей для токарной обработки. Данные зависимости более полно учитывают условия обработки и обеспечивают получение более точных значений сил резания и крутящих моментов.

При сверлении:

$$P_o = 2,5 \cdot [2^{1-X_{Pz}-Y_{Pz}} \cdot C_{Pz} \cdot D^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin\varphi)^{1+Y_{Pz}-X_{Pz}}] \cdot K_{Pz};$$

$$M = 1,25 \cdot 2^{-1-X_{Pz}-Y_{Pz}} \cdot C_{Pz} \cdot D^{1+X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin\varphi)^{Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot K_{Pz},$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане.

При цилиндрическом фрезеровании:

$$P_Z = \frac{2 \cdot C_{Pz}}{\pi(0,5 \cdot y_{Pz} + 1)} \cdot B^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{0,5(Y_{Pz}+1)} \cdot Z \cdot K_{Pz}.$$

При торцовом фрезеровании:

$$P_Z = \frac{C_{Pz} \cdot B \cdot Z}{\pi \cdot D} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S_Z^{Y_{Pz}} \cdot (\sin\varphi)^{Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot (\sin\psi_{CP})^{Y_{Pz}} \cdot K_{Pz},$$

где  $(\sin\psi_{CP})^{Y_{Pz}} \approx 0,9$ ; B – ширина фрезерования; D – диаметр фрезы.

Показатели степени и коэффициенты в приведенных зависимостях выбираются из соответствующих таблиц нормативов для токарной обработки.

Мощность, затрачиваемая на процесс резания, при фрезеровании рассчитывается по формуле

$$N_{рез} = \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 1020}.$$

При сверлении

$$N_{\text{рез}} = \frac{M \cdot n}{975}.$$

Расчетная мощность электродвигателя, которая обеспечивает возможность осуществления на выбранном станке процесса резания, определяется с учетом КПД станка  $\eta$

$$N_{\text{э}} = \frac{N_{\text{рез}}}{\eta}.$$

Для того, чтобы на выбранном станке возможно было осуществлять процесс резания, необходимо, чтобы мощность электродвигателя данного станка  $N_{\text{ст}}$  была больше (или, в крайнем случае равна) расчетной мощности, т.е.  $N_{\text{ст}} > N_{\text{э}}$ . Если данное условие не выполняется, то целесообразно уменьшить не подачу, а частоту вращения шпинделя станка, выбрав ближайшую меньшую по паспорту станка. Затем пересчитать значения  $V$ ,  $P_z$ ,  $N_{\text{рез}}$  и  $N_{\text{э}}$  и снова проверить условие осуществления на данном станке процесса резания. Если уменьшение частоты вращения приведет к существенной потере производительности, целесообразно обработку провести за два и более прохода, разделив соответственно глубину резания, или, в крайнем случае, выбрать другой станок.

Расчет режима резания заканчивается определением основного технологического времени по формуле:

$$T_0 = L / V_s,$$

где  $L = l + u + \Delta$  – путь резания, мм;

$l$  – длина обработанной поверхности, мм;

$u$  – величина врезания инструмента, мм;

$\Delta$  – величина перебега инструмента, мм;

$V_s = S_o \cdot n$  – скорость движения подачи (минутная подача), мм/мин.

### **Задание для выполнения работы**

1. Ознакомиться с методикой расчета элементов режима резания при сверлении и фрезеровании и инструкцией по работе с компьютерными программами.

2. Рассчитать элементы режима резания при сверлении. Цилиндрическом и торцовом фрезеровании.

3. Рассчитать силовые зависимости при сверлении, цилиндрическом и торцовом фрезеровании по эмпирическим зависимостям и зависимостям, полученным на основе зависимостей для токарной обработки и проанализировать полученные результаты.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ**

### **Цель работы**

Исследование влияния элементов режима резания на осевую силу и крутящий момент при сверлении.

### **Содержание работы**

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием программы «Сверление» [5]. Исследуется влияние элементов режима резания (скорость резания  $V$ , диаметр сверла  $D$ , подача на оборот  $S_o$ ) и длины сверления  $L$  на осевую силу  $P_o$  и крутящий момент  $M_{кр}$ .

Диапазоны исследуемых параметров:

скорость резания  $V = 5 - 80$  м/мин;

подача на оборот  $S_o = 0,05 - 1$  мм/об с шагом 0,05 мм/об;

длина сверления  $L = 5 - 130$  мм с шагом 1 мм;

диаметр сверла  $D$  выбирается из ряда: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35.

При выборе материала режущей части сверла и материала заготовки следует учитывать, что программа может автоматически отбраковывать материал заготовки для выбранного материала режущей части сверла из-за отсутствия в программе данных по данной паре инструментального и обрабатываемого материалов. В этом случае необходимо выбрать другой материал.

Особенностью данной программы является автоматическая проверка выбранной подачи на прочность конкретного сверла и в случае невыполнения данного условия на экране появляется запись – «Поломка сверла». В этом случае следует перейти на меньший диапазон исследуемых подач.

Программа позволяет также проводить исследование указанных выше параметров при рассверливании отверстий. В этом случае дополнительно задается диаметр отверстия в заготовке.

### **Задание для выполнения работы**

1. Ознакомиться с содержанием работы и инструкцией по работе с программой.
2. Подготовить таблицы исходных данных для исследования осевой силы и крутящего момента.

3. Выбрать материал режущей части сверла и материал заготовки.
4. Провести исследование по влиянию скорости резания, диаметра сверла, подачи и глубины сверления на осевую силу и крутящий момент.
5. Построить графики зависимостей осевой силы и крутящего момента от скорости резания, диаметра сверла, подачи и глубины сверления.
6. Проанализировать влияние исследуемых параметров на осевую силу и крутящий момент при сверлении.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Объясните выбор инструментального материала режущей части сверла при сверлении выбранного материала заготовки.
2. Объясните влияние скорости резания на осевую силу и крутящий момент.
3. Объясните влияние диаметра сверла на осевую силу и крутящий момент.
4. Объясните влияние подачи на осевую силу и крутящий момент.
5. Объясните, что больше влияет на осевую силу – диаметр сверла или подача.
6. Объясните, что больше влияет на крутящий момент – диаметр сверла или подача.
7. Объясните влияние глубины сверления на осевую силу и крутящий момент

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

#### **Цель работы**

Исследование влияния элементов режима резания и конструктивно-геометрических параметров цилиндрической фрезы на касательную составляющую силы резания.

#### **Содержание работы**

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием программы «Цилиндрическое фрезерование» [5]. Исследуется влияние элементов режима резания (скорость резания  $V$  (м/мин), скорость движения подачи  $V_s$  (мм/мин), глубина резания  $t$  (мм), ширина фрезерования  $B$  (мм)) и конструктивно-геометрических параметров цилиндрической фрезы (диаметр сверла  $D$  (мм), количество зубьев  $Z$ , передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол наклона винтовой линии  $\omega$ ) на касательную составляющую силы резания.

Диапазоны исследуемых параметров:

скорость резания –  $V = 30 - 120$  м/мин с дискретностью 10 м/мин;

скорость движения подачи  $V_s = 40 - 600$  мм/мин с дискретностью 10 мм/мин;

ширина фрезерования  $B = 10 - 100$  мм с шагом 10 мм;

глубина резания  $t$  – от 0,5 мм до величины, равной половине диаметра фрезы с дискретностью 0,5 мм;

диаметр фрезы  $D = 50 - 180$  мм с дискретностью 10 мм;

количество зубьев фрезы  $Z = 4 - 22$ .

#### **Задание для выполнения работы**

1. Ознакомиться с содержанием работы и инструкцией по работе с программой.
2. Подготовить таблицы исходных данных для исследования касательной составляющей силы резания при цилиндрическом фрезеровании.
3. Выбрать материал режущей части цилиндрической фрезы и материал заготовки.
4. Провести исследование по влиянию скорости резания, скорости движения подачи, глубины резания и ширины фрезерования на касательную составляющую силы резания.

5. Провести исследование по влиянию диаметра фрезы, количества зубьев, переднего, заднего углов и угла наклона винтовой линии фрезы на касательную составляющую силы резания.

6. Провести исследование по влиянию схемы фрезерования (встречное и попутное фрезерование) на касательную составляющую силы резания.

7. Построить графики зависимостей касательной составляющей силы резания от скорости резания, скорости движения подачи, глубины резания, ширины фрезерования, переднего и заднего углов и угла наклона винтовой линии фрезы.

8. Проанализировать влияние исследуемых параметров на касательную составляющую силы резания при цилиндрическом фрезеровании.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите составляющие силы резания, действующие на зубе цилиндрической фрезы, и их назначение.

2. Объясните выбор инструментального материала режущей части цилиндрической фрезы при фрезеровании выбранного материала заготовки.

3. Объясните влияние элементов режима резания (скорости резания, скорости движения подачи, глубины резания и ширины фрезерования) на касательную составляющую силы резания при цилиндрическом фрезеровании.

4. Объясните влияние конструктивно-геометрических параметров (диаметра фрезы, количества зубьев, переднего, заднего углов и угла наклона винтовой линии фрезы) на касательную составляющую силы резания при цилиндрическом фрезеровании.

5. Дайте определение равномерному фрезерованию и напишите условие его осуществления.

6. Перечислите отличия попутного фрезерования от встречного. Какая схема фрезерования предпочтительна при черновом и при чистовом фрезеровании.

7. Объясните влияние схемы фрезерования (попутное или встречное) на касательную составляющую силы резания при цилиндрическом фрезеровании.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ**

#### **Цель работы**

Исследование влияния условий резания на касательную составляющую силы резания при круглом врезном шлифовании.

#### **Содержание работы**

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием программы «Шлифование» [5]. Исследуется влияние элементов режима резания (скорость резания  $V$  (м/с), скорость движения поперечной врезной подачи  $V_s$  (мм/мин), глубина резания  $t$  (мм), частота вращения заготовки  $n_{\text{заг}}$  (об/мин)), диаметров шлифовального круга  $D_{\text{кр}}$  (мм) и заготовки  $D_{\text{заг}}$  (мм) и ширины обрабатываемой поверхности  $B$  (мм) на касательную составляющую силы резания.

Диапазоны исследуемых параметров:

скорость резания  $V = 20 - 100$  м/с с дискретностью 10 м/с;

скорость движения поперечной врезной подачи  $V_s = 2 - 10$  мм/мин с дискретностью 1 мм/мин;

глубина резания  $t = 0,1 - 1$  мм с шагом 0,1 мм;

частота вращения заготовки  $n_{\text{заг}} = 20 - 240$  об/мин с шагом 10 об/мин;

ширина обрабатываемой поверхности  $B = 10 - 30$  мм с шагом 1 мм;

диаметр  $D_{\text{кр}}$  шлифовального круга и диаметр  $D_{\text{заг}}$  заготовки изменяются в свободном диапазоне с любым шагом.

Программа позволяет проводить исследования по влиянию условий шлифования на касательную составляющую силы резания при внутреннем врезном шлифовании. Диапазоны исследуемых параметров при этом остаются такими же как и круглом врезном шлифовании, за исключением выбора диаметров шлифовального круга и заготовки: диаметр шлифовального круга  $D_{\text{кр}} < 0,85 D_{\text{заг}}$  (мм) с любым шагом; а диаметр заготовки  $D_{\text{заг}} < 100$  мм с любым шагом.

#### **Задание для выполнения работы**

1. Ознакомиться с содержанием работы и инструкцией по работе с программой.

2. Подготовить таблицы исходных данных для исследования касательной составляющей силы резания при круглом врезном шлифовании.

3. Выбрать характеристику шлифовального круга и материал заготовки.

4. Провести исследование по влиянию скорости резания, скорости движения поперечной врезной подачи, глубины резания и частоты вращения заготовки на касательную составляющую силы резания.

5. Провести исследование по влиянию диаметра шлифовального круга, диаметра заготовки и ширины обработанной поверхности на касательную составляющую силы резания.

6. Построить графики зависимостей касательной составляющей силы резания от скорости резания, скорости движения поперечной врезной подачи, глубины резания, частоты вращения заготовки, диаметров шлифовального круга и заготовки и ширины обработанной поверхности.

7. Проанализировать влияние исследуемых параметров на касательную составляющую силы резания при круглом врезном шлифовании.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите составляющие силы резания при круглом врезном шлифовании и объясните соотношение между ними.

2. Расшифруйте характеристики шлифовальных кругов, используемых в программе «Шлифование».

3. Объясните выбор шлифовальных кругов при шлифовании выбранного материала заготовки.

4. Объясните влияние элементов режима резания (скорости резания, скорости движения поперечной врезной подачи, глубины резания и частоты вращения заготовки) на касательную составляющую силы резания при круглом врезном шлифовании.

5. Объясните влияние диаметров шлифовального круга и диаметра заготовки и ширины обрабатываемой поверхности на касательную составляющую силы резания при круглом врезном шлифовании.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верещака, А. С. Резание материалов: учебник для вузов / А. С. Верещака. – М.: Высшая школа, 2009. – 535 с.
2. Ящерицын, П. И. Теория резания: учебник для вузов / П. И. Ящерицын. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.
3. Резание материалов : учебник для вузов / Е. Н. Трембач [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 511 с.
4. Рыжкин, А. А. Обработка материалов резанием: учебное пособие для вузов / А. А. Рыжкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 411 с.
5. Петраков, Ю. В. Моделирование процессов резания: учебное пособие / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 240 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя : В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 495 с.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания : Справочник. – М. : Машиностроение, 1991. – Т. 1. – 640 с.
8. Карев, Е. А. Автоматизация расчета режимов резания при механической обработке заготовок : учебное пособие / Е. А. Карев, В. П. Табаков, Н. В. Еремин. – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 103 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Протокол к лабораторной работе №1

### ГЕОМЕТРИЯ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА

Основные геометрические параметры сверла

№ сверла	Диаметр сверла		Диаметр сердцевины		Длина поперечной кромки $l_1$ , мм	Ленточка		Угол наклона винтовой канавки $\omega$ , град	Угол наклона поперечной кромки $\psi$ , град	Угол при вершине $2\phi$ , град
	у хвостовика $D_1$ , мм	у вершины $D_2$ , мм	у хвостовика $d_1$ , мм	у вершины $d_2$ , мм		высота $h_{л}$ , мм	ширина $B_{л}$ , мм			

Измерение заднего угла сверла

№	Диаметр сверла $D$ , мм	Переменный диаметр сверла $D_x$ , мм	Длина дуги $l$ , мм	Показания индикатора $K$ , мм	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{l}$	Измеренный задний угол $\alpha$ , град
1						
2						
3						

Определение переднего угла сверла

№	Диаметр сверла $D$ , мм	Переменный диаметр $D_x$ , мм	Угол при вершине $2\phi$ , град	Шаг спирали $H$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\omega_x$ , град	Передний угол	
						в осевой плоскости $\gamma_0$ , град	в главной секущей плоскости $\gamma$ , град
1							
2							
3							

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Протокол к лабораторной работе №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА СИЛЫ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Станок \_\_\_\_\_

Геометрия фрезы \_\_\_\_\_

Обрабатываемый материал \_\_\_\_\_

Инструментальный материал \_\_\_\_\_

№ эксперимента	Глубина $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Ширина фрезерования $B$ , мм	Частота вращения $n$ , об/мин	Скорость $V$ , м/мин	$P_z$	
						мА	Н
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Протокол к лабораторной работе №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Станок \_\_\_\_\_

Геометрия резца \_\_\_\_\_

Обрабатываемый материал \_\_\_\_\_

Инструментальный материал \_\_\_\_\_

№ эксперимента	Диаметр обрабатываемой поверхности $D_0$ , мм	Диаметр обработанной поверхности $D$ , мм	Глубина $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Частота вращения $n$ , об/мин	Скорость $V$ , м/мин	Коэффициент укорочения стружки $K_L$ для инструмента		
							без покрытия	с покрытием .....	с покрытием .....
1									
2									
3									
4									

№ эксперимента	Глубина $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Частота вращения $n$ , об/мин	Скорость $V$ , м/мин	$P_Z$ , Н			$P_Y$ , Н		
					без покрытия	с покрытием .....	с покрытием .....	без покрытия	с покрытием .....	с покрытием .....
1										
2										
3										
4										

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Протокол к лабораторной работе №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

Станок \_\_\_\_\_

Геометрия резца \_\_\_\_\_

Обрабатываемый материал \_\_\_\_\_

Инструментальный материал \_\_\_\_\_

№ эксперимента	Глубина $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Частота вращения $n$ , об/мин	Скорость $V$ , м/мин	Инструмент без покрытия			Инструмент с покрытием		
					Путь резания $L$ , мм	Износ $h_z$ , мм	Относительный износ $\Delta$ , мм/мм	Путь резания $L$ , мм	Износ $h_z$ , мм	Относительный износ $\Delta$ , мм/мм
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Протокол к практическому занятию №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

№	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача на оборот $S_o$ , мм/об	Диаметр, $D$ , мм	Глубина сверления $l$ , мм	Осевая сила $P_o$ , Н	Крутящий момент $M_{кр}$ , Нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Протокол к практическому занятию №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

№	Скорость резания $V$ , м/мин	Скорость движения подачи $V_s$ , мм/мин	Глубина резания $t$ , мм	Ширина фрезерования $B$ , мм	$P_z$ , Н
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

№	Количество зубьев фрезы $Z$	Передний угол $\gamma$	Главный задний угол $\alpha$	Угол наклона винтовой линии $\omega$	$P_z$ , Н
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Протоколы к практическому занятию №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

№ п/п	Скорость резания $V$ , м/с	Скорость движения подачи $V_s$ , мм/мин	Глубина резания $t$ , мм	Частота вращения заготовки $n_{\text{заг}}$ , об/мин	$P_Z$ , Н
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

№ п/п	Диаметр шлифовального круга $D_{\text{кр}}$ , мм	Диаметр заготовки $D_{\text{заг}}$ , мм	Ширина шлифования $B$ , мм	$P_Z$ , Н
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Учебное издание

ТАБАКОВ Владимир Петрович  
САГИТОВ Дамир Ильдарович

**МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ И  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Практикум по лабораторным работам  
и практическим занятиям

Редактор М.В. Теленкова

Подписано в печать 06.02.2015. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 2,55. Тираж 20 экз. Заказ 181.

Ульяновский государственный технический университет  
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.