

**Носенко В.А., Белухин Р.А., Крутикова А.А.,
Александров А.А., Саразов А.В.**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВАНИЯ»**



Волжский

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. А. Носенко, Р.А. Белухин, А.А. Крутикова,
А.А. Александров, А.В. Саразов**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВАНИЯ»**

Электронное учебно-методическое пособие



2018

УДК 621.924(07)
ББК 34.637.3я73
Л 125

Рецензенты:

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета

Веткасов Н.И.,

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» филиала ФГБОУ ВО НИУ МЭИ

Кульков В.Г.

Издается решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Носенко, В. А.

Лабораторный практикум по дисциплине «Технология шлифования» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Носенко В. А., Белухин Р.А., Крутикова А.А., Александров А.А., Саразов А.В. ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 10,06 МБ). – Волжский, 2018. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3104-5

В лабораторном практикуме приводятся основные теоретические сведения об инструменте и оборудовании, применяемом при абразивной обработке. Материал представлен десятью лабораторными работами.

Учебное пособие предназначено для студентов направления 15.03.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и изучающих дисциплины «Технология машиностроения», «Технология шлифования».

Ил. 17, табл. 23, библиограф.: 23 назв.

ISBN 978-5-9948-3104-5

© Волгоградский государственный
технический университет, 2018

© Волжский политехнический ин-
ститут, 2018

Оглавление

Введение.....	5
Обозначения.....	8
Лабораторная работа № 1	
Определение линейных размеров шлифовальных кругов.....	10
Лабораторная работа № 2	
Влияние импрегнирования на твердость шлифовальных кругов.....	20
Лабораторная работа № 3	
Влияние импрегнирования на неуравновешенность шлифовальных кругов.....	29
Лабораторная работа № 4	
Определение составляющих силы резания при плоском шлифовании.	35
Лабораторная работа № 5	
Определение износа и режущей способности шлифовального круга...	43
Лабораторная работа № 6	
Испытание кругов на безопасность работы.....	56
Лабораторная работа № 7	
Глубинное шлифование.....	61
Лабораторная работа № 8	
Влияние глубины шлифования и подачи на шероховатость обработанной поверхности.....	69
Лабораторная работа № 9	
Испытания смазочно-охлаждающих жидкостей на экспресс-установке.....	77
Лабораторная работа №10	
Исследование геометрических параметров зерен шлифовальных порошков на оптическом микроскопе.....	88

Библиографический список	99
Приложение А.....	102
Приложение Б	104

Введение

Познания хороши те, которые нужны людям
и приносят им пользу.

Древняя китайская басня

Одним из путей повышения эффективности производства и качества изделий является широкое применение обработки деталей абразивными инструментами. Абразивная обработка позволяет обеспечить требуемые точность и качество деталей при высокой производительности, а значит обеспечить высокую надежность и долговечность машиностроительной продукции в процессе эксплуатации, поэтому объем и роль данного вида операций в машиностроении непрерывно возрастают.

В данном учебном пособии приведены методические указания и теоретический материал к десяти лабораторным работам по технологии шлифования. Работы построены так, что каждая из них является базой для понимания последующего излагаемого материала.

В первой работе приведены основные виды абразивных материалов, раскрыты основные характеристики абразивного инструмента и рекомендуемые области его применения. Студенты осваивают методику определения основных размеров шлифовальных кругов.

Вторая и третья лабораторные работы знакомят студентов с понятием импрегнирование, дают возможность определить влияние различных импрегнирующих составов на такие параметры, как твердость и неуравновешенность шлифовальных кругов. Раскрыты методики определения степени твердости и класса неуравновешенности.

На точность технологической операции кроме точности оборудования влияет и его жесткость. Для установления и назначения поправок при обработке необходимо знать силы, действующие в зоне резания. Поэтому в

четвертой лабораторной работе приведена методика определения составляющих силы шлифования. Рассмотрено плоское шлифование. Также даны определения основным кинематическим элементам и характеристикам шлифования.

Абразивный инструмент, как и любой другой режущий инструмент, в процессе работы теряет свою форму и режущую способность. Пятая лабораторная работа раскрывает процессы, происходящие на рабочей поверхности абразивного инструмента. Здесь же показаны методы определения режущей способности и коэффициента шлифования кругов при плоском шлифовании и различные варианты восстановления (обновления) рабочей поверхности инструмента в результате его правки.

При обработке материалов различными видами абразивных инструментов скорость резания достигает десятков метров в секунду, что в сочетании с силовой нагрузкой и возможным ударным взаимодействием (при обработке прерывистой рабочей поверхности, или при работе сборными шлифовальными кругами) может привести к разрушению шлифовального круга или отрыву его частей. Поэтому изучение теоретического материала и выполнение практической части шестой лабораторной работы «Испытание кругов на безопасность работы» рассматривается нами как обязательная составляющая при подготовке специалистов в области технологии машиностроения.

Седьмая лабораторная работа расширяет представления студентов о шлифовании как, в основном, отделочного вида обработки. Здесь раскрыты технологические возможности глубинного шлифования. Показана необходимость в применении при данном виде обработки специального оборудования, инструмента и схем шлифования.

В восьмой лабораторной работе студенты знакомятся с основными параметрами, характеризующими качество обработанной поверхности и

методами получения математических моделей формирования указанных параметров под действием режимных факторов.

Целью девятой лабораторной работы является ознакомление студентов с устройством и методикой проведения испытаний на экспресс-установке. Последняя позволяет производить исследования по правильному подбору смазочно-охлаждающей жидкости, оценивая её эксплуатационно-технологические свойства.

Десятая лабораторная работа знакомит студентов с методикой экспериментального исследования размеров и формы зерен шлифовальных порошков на оптическом микроскопе. Знание геометрических параметров зерен необходимо технологу, так как они влияют на качество обработанной поверхности, силу резания, температуру в зоне контакта.

Все лабораторные работы дополнены вопросами для самопроверки и контроля изучения теоретического материала.

Обозначения

D – наружный диаметр круга, мм;

T – высота круга, мм;

d – диаметр посадочного отверстия круга, мм;

v – скорость резания, м/с;

t – глубина резания (шлифования), мм;

v_s – скорость движения подачи, м/мин или мм/мин;

S_o – осевая подача, мм/мин;

S_p – радиальная подача, мм/мин;

S_{2x} – подача на двойной ход, мм/дв. ход;

i – число рабочих ходов, шт;

P_y – радиальная составляющая силы шлифования, Н;

P_z – касательная составляющая силы шлифования, Н;

P_x – осевая составляющая силы шлифования, Н;

K – коэффициент шлифования;

W_m – объем снятого металла (объемная наработка), мм³;

W_a – объем изношенной части шлифовального круга, мм³.

Q_m – режущая способность шлифовальных кругов, мм³/мин;

t_o – основное время шлифования, мин;

L – расчетная длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм;

L_d – длина обрабатываемой поверхности, мм;

L_1 – длина врезания инструмента, мм;

L_2 – длина перебега инструмента, мм;

n – число оборотов шпинделя, об/мин;

$v_{раб.}$ – рабочая скорость шлифовального круга, м/с;

v_u – испытательная скорость шлифовального круга;

$S_{пр}$ – подача на правку, мкм/импульс;

k – количество импульсов правки в секунду, шт;

W – шаг неровностей профиля, мкм;
 H – высота неровностей профиля, мкм;
 Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм;
 Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм;
 R_{max} – наибольшая высота профиля, мкм;
 S_m – средний шаг неровностей, мкм;
 S – средний шаг местных выступов профиля, мкм;
 tp – относительная опорная длина профиля;
 p – значение уровня сечения профиля;
 s^2 – дисперсия;
 s_y^2 – дисперсия воспроизводимости;
 $s_{ад}^2$ – дисперсия адекватности;
 $s^2\{b_i\}$ – дисперсия i -го коэффициента математической модели;
 y – исследуемый параметр;
 $\bar{y}$ – среднее значение исследуемого параметра;
 $\hat{y}$ – расчетное значение исследуемого параметра;
 x_i – кодированное значение i -го фактора;
 $b_0, b_1, b_2, \dots$ – коэффициенты полинома;
 N – число опытов (число строк матрицы планирования);
 n – число параллельных опытов;
 f – число степеней свободы;
 m – количество коэффициентов модели.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

1.1. Цель работы

1.1.1. Изучение основных характеристик и типоразмеров шлифовальных кругов.

1.1.2. Освоение методики определения основных размеров шлифовальных кругов.

1.2. Оборудование и инструменты

1.2.1. Шлифовальные круги различных типоразмеров и характеристик.

1.2.2. Штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166-89.

1.3. Теоретическая часть

Абразивный инструмент – это режущий инструмент, предназначенный для абразивной обработки. Абразивный инструмент широко используют при обработке различных деталей машин, механизмов и приборов. Его применение обеспечивает точность обработки до $1 \div 4$ мкм и шероховатость поверхности по параметру Ra до $0,20 \div 0,08$ мкм. Более 20 % всего парка металлорежущих станков работают с использованием абразивного инструмента. В подшипниковой, автомобильной и моторостроительной промышленности общее количество станков для абразивной обработки достигает 50%.

Абразивный инструмент состоит из зерен абразивного материала определенного размера (зернистости), скрепленных между собой связкой, и пор.

Абразивные материалы делятся на *природные* (алмаз, корунд, наждак, кварц и др.) и *искусственные* (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетический алмаз, кубический нитрид бора). Для изготовления абразивных инструментов применяют в основном искусственные абразивные материалы.

Электрокорунд – абразивный материал, состоящий из корунда (Al_2O_3) и небольшого количества примесей. Промышленность производит несколько разновидностей электрокорундов, из которых наиболее широко используется электрокорунд нормальный, белый и хромотитанистый.

Электрокорунд нормальный содержит 91-96 % кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 и рекомендуется в основном для обдирочного шлифования. Его изготавливают из боксита и выпускают следующих марок: 16А, 15А, 14А и 13А.

Электрокорунд белый изготавливают из глинозема, и он содержит 97-99 % Al_2O_3 . Электрокорунд белый и хромотитанистый (с легирующими элементами) применяют для окончательного шлифования стальных заготовок в закаленном и незакаленном состояниях. Круги из хромотитанистого электрокорунда обладают лучшими эксплуатационными свойствами и обеспечивают повышение производительности на 20-30 %. Электрокорунд белый выпускают следующих марок: 25А, 24А, 23А и 22А, электрокорунд хромотитанистый – 95А, 94А, 93А, 92А, 91А.

Карбид кремния представляет собой химическое соединение кремния с углеродом (SiC). Промышленность производит два вида карбида кремния абразивного назначения: зеленый и черный. По химическому составу и физическим свойствам зеленый и черный карбиды кремния отличаются незначительно, но зеленый карбид кремния содержит меньше примесей, име-

ет более высокую хрупкость и абразивную способность. Карбид кремния зеленый используется преимущественно для чистового шлифования твердых сплавов, керамики, камня, цветных металлов. Карбид кремния черный используется в основном на операциях чернового шлифования. Карбид кремния зеленый выпускают следующих марок: 65С, 64С, 63С; карбид кремния черный – 55С, 54С, 53С.

Алмаз синтетический – абразивный материал, получаемый синтезом из графита при высоких давлениях и температурах. Алмазные инструменты рекомендуется применять при обработке твердых сплавов, камней, керамики и цветных металлов на операциях отрезки и чистового шлифования.

Кубический нитрид бора (эльбор) – абразивный материал, содержащий не менее 90 % кубического нитрида бора β -BN. Его получают из гексагонального нитрида бора α -BN при высоких давлениях и температурах. Применяют для обработки заготовок из стали и чугуна. Эльбор особенно эффективен при окончательном и профильном шлифовании термообработанных заготовок из высоколегированных, конструкционных, жаропрочных, коррозионно-стойких сталей высокой твердости, заточки инструментов из быстрорежущих сталей. Поскольку производство данного абразивного материала достаточно трудоемко, то при изготовлении обычно большую часть шлифовальных кругов изготавливают из менее дорогих материалов (например, из электрокорунда) и лишь рабочий слой из эльбора.

Шлифовальные материалы выпускают определенной зернистости ГОСТ Р 52381. *Зернистость* – это условная числовая характеристика зернового состава шлифовальных порошков. *Зерновой состав* – распределение абразивных зерен по размерам, выраженное в массовых долях и определяемое путем рассева шлифовальных порошков на контрольных ситах. *Шлифовальный порошок* – Абразивный материал, размеры зерен которого

находятся в пределах 4750 – 45 мкм. Для изготовления абразивного инструмента, исключая инструмент на гибкой основе, а также для использования шлифовальных порошков при обработке свободным абразивным зерном изготавливают шлифовальные порошки зернистостей: F4, F5, F6, F7, F8, F10, F12, F14, F16, F20, F22, F24, F30, F36, F40, F46, F54, F60, F70, F80, F90, F100, F120, F150, F180, F220.

Для изготовления абразивного инструмента на гибкой основе изготавливают шлифовальные порошки зернистостей: P12, P16, P20, P24, P30, P36, P40, P50, P60, P80, P100, P120, P150, P180, P220. Условное обозначение фракции указывается в характеристике инструмента после условного обозначения зернистости.

Связка – материал или совокупность материалов, применяемых для закрепления абразивных зерен в абразивном инструменте. Виды связок представлены в таблице 1.1. Из общего количества выпускаемых абразивных инструментов 60 % приходится на керамическую связку, 30 % – на бакелитовую, 5-7 % – на вулканитовую и 3-5 % – на остальные. К остальным связкам относятся металлические, магнезиальные, комбинированные и пр.

Таблица 1.1

Связки абразивного инструмента

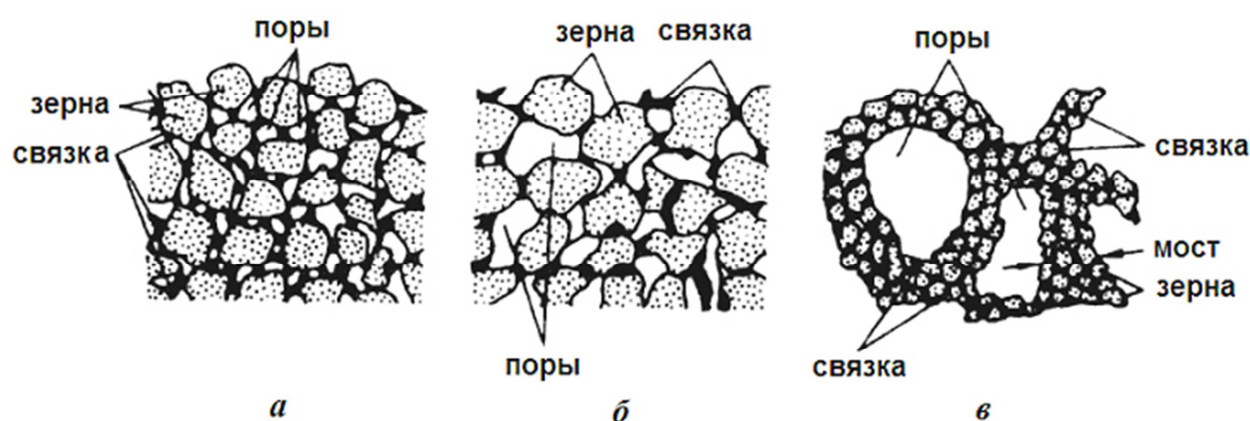
Связка	Обозначение
Бакелитовая	<i>B</i>
Бакелитовая с усилением	<i>BF</i>
Шеллаковая	<i>E</i>
Металлическая	<i>M</i>
Магнезиальная	<i>O</i>
Вулканитовая	<i>R</i>
Вулканитовая с усилением	<i>RF</i>
Силикатная	<i>S</i>
Керамическая	<i>V</i>

Твердость абразивного инструмента определяется свойством связки оказывать сопротивление проникновению в абразивный инструмент другого тела. По твердости абразивные инструменты делятся на восемь основ-

ных групп ГОСТ Р 52587: *F, G* – весьма мягкие, *H, I, J* – мягкие, *K, L* – среднемягкие, *M, N* – средние, *O, P, Q* – среднетвердые, *R, S* – твердые, *T, U* – весьма твердые, *V, W, X, Y, Z* – чрезвычайно твердые. Таким образом, различают 18 степеней твердости – от *F* до *Z*.

Структура абразивного инструмента – это соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте. Структуры абразивного инструмента обозначают номерами, установленными в нормативно-технической документации. Чем больше номер структуры, тем меньший объем шлифовального материала находится в абразивном изделии. Инструменты изготавливают со структурой от 1 до 21 и выше.

В зависимости от объема пор структуры подразделяются на закрытую или плотную (1-4), среднюю (5-8), открытую (9-12) и высокопористую. Плотная структура имеет более тесную связь между зернами и более мелкие поры. Для лучшего отвода стружки и снижения температуры в зоне шлифования применяют высокопористые круги, объем пор в которых достигает 75 % (рисунок 1.1).



а – плотная; *б* – открытая; *в* – высокопористая

Рисунок 1.1. – Структура абразивного инструмента

Абразивные инструменты изготавливаются в виде кругов, дисков, головок, сегментов, брусков различных форм.

Типы шлифовальных кругов регламентированы ГОСТ Р 52781. К наиболее широко применяемым типам относятся (рисунок 1.2): прямой профиль (условное обозначение 1), чашечный цилиндрический (6), чашечный конический (11), тарельчатые (12, 13, 14).

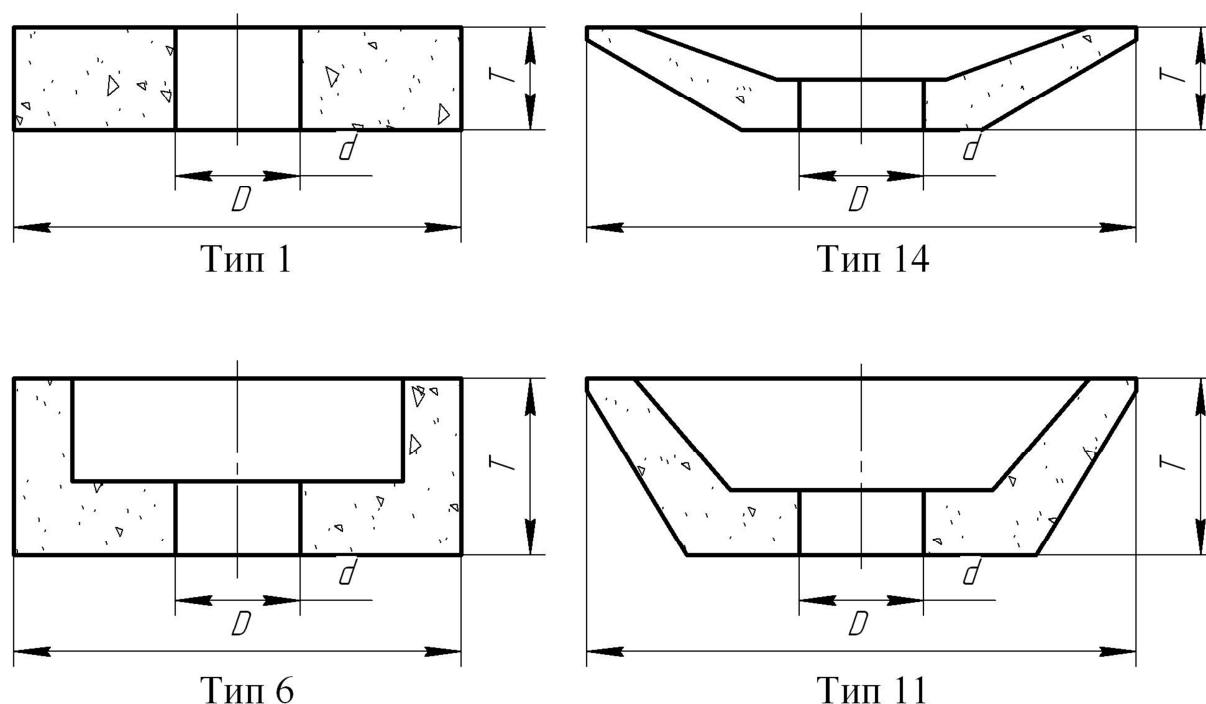


Рисунок 1.2. – Некоторые типы шлифовальных кругов

По точности изготовления круги делят на три класса: АА, А и Б. Круги класса АА выпускают из зерна с повышенным содержанием основной фракции. Эти круги имеют наименьшую неуравновешенность и наименьшее отклонение от заданных размеров.

Шлифовальные круги, как любое тело вращения, обладают неуравновешенностью, т.е. несовпадением центра тяжести круга с его геометрическим центром. По ГОСТ 3060-86 предусмотрены четыре класса неуравновешенности. Наименьшая неуравновешенность соответствует классу 1, наибольшая – классу 4.

В соответствии с ГОСТ 52781 условное обозначение шлифовального круга включает обозначение типа, размера и характеристики.

Например, условное обозначение круга прямого профиля, наружным диаметром $D = 500$ мм, высотой $H = 50$ мм, диаметром посадочного отверстия $d = 305$ мм, из белого электрокорунда марки 25А, зернистости F120, степени твердости H, номера структуры 7, на керамической связке V, с предельной рабочей скоростью 35 м/с, класса точности А, 1-го класса неуравновешенности, выглядит следующим образом:

1 500x50x305 25A F120 H 7 V 35 м/с А 1 кл.

1.4. Порядок проведения работы

1.4.1. Внимательно ознакомиться с методическим указанием к данной лабораторной работе.

1.4.2. Записать тип, размер и характеристику шлифовального круга.

1.4.3. Определить отклонение наружного диаметра D .

Для этого измерить наружный диаметр в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью штангенциркуля. Затем произвести повторные измерения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, повернутых на угол 45° относительно первых. Измерения производить с точностью до 0,1 мм. Полученные значения D_1 , и D_2 , D_3 и D_4 записать в таблицу 1.2. Отклонения наружного диаметра от номинального значения определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta D_1 &= |D - D_{min}|, \\ \Delta D_2 &= |D - D_{max}|,\end{aligned}\tag{1.1}$$

где D_{min} и D_{max} – соответственно минимальное и максимальное значение диаметра из четырех измерений;

D – номинальное значение диаметра.

Наибольшее из полученных отклонений сравнивается с табличным (таблица А.1) и определяется соответствующий класс точности. Все необходимые значения записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_{max}	D_{min}	ΔD_1	ΔD_2	ΔD	класс

1.4.4. Определить отклонение внутреннего диаметра d . Внутренний диаметр измеряют в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Затем произвести повторные измерения также в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, повернутых по углом 45° относительно первых. Отклонения диаметра от номинального значения определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta d_1 &= |d - d_{min}|, \\ \Delta d_2 &= |d - d_{max}|,\end{aligned}\tag{1.2}$$

где d_{min} и d_{max} – соответственно минимальное и максимальное значение внутреннего диаметра из четырех измерений;

d – номинальное значение внутреннего диаметра.

Наибольшее из полученных отклонений сравнивается с табличным (таблица А.3) и определяется класс точности. Все значения записать в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

d	d_1	d_2	d_3	d_4	d_{max}	d_{min}	Δd_1	Δd_2	Δd	класс

1.4.5. Определить отклонение высоты круга ΔT . Высоту круга измерить в четырех точках, равномерно расположенных на периферии инструмента. Отклонения высоты от номинального значения определяется по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &= |T - T_{min}|, \\ \Delta T_2 &= |T - T_{max}|,\end{aligned}\tag{1.3}$$

где T_{min} и T_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения высот из четырех измерений;

T – номинальное значение высоты.

Наибольшее из полученных отклонений сравнивается с табличным (таблица А.3) и определяется класс точности. Все необходимые значения записать в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

T	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{max}	T_{min}	ΔT_1	ΔT_2	ΔT	класс

1.5. Содержание отчета

Отчет включает: название работы, цель работы, тип, размер и характеристику измеряемого шлифовального круга с расшифровкой обозначений, расчетные формулы и рабочие таблицы 1.2, 1.3 и 1.4.

1.6. Контрольные вопросы

1.6.1. Что такое абразивный инструмент?

1.6.2. Состав абразивного инструмента?

1.6.3. Достижимая точность обработки при использовании абразивного инструмента?

1.6.4. Какой процент занимают станки с использованием абразивного инструмента от общего парка станков?

1.6.5. Разновидности абразивных материалов?

1.6.6. Разновидности и марки электрокорунда?

1.6.7. Разновидности и марки карбида кремния?

1.6.8. Области применения абразивного инструмента из электрокорунда?

1.6.9. Области применения абразивного инструмента из карбида кремния?

1.6.10. Области применения алмазных инструментов?

- 1.6.11. Области применения абразивных инструментов из эльбора?
- 1.6.12. Что такое зернистость?
- 1.6.13. Классификация шлифовальных материалов по зернистости?
- 1.6.14. Условное обозначение зернистости?
- 1.6.15. Подразделение зернистости по фракциям и условное обозначение?
- 1.6.16. Для чего предназначена связка?
- 1.6.17. Основные виды связок и их условные обозначения
- 1.6.18. Что понимают под твердостью абразивного инструмента?
- 1.6.19. Степени твердости и их условные обозначения?
- 1.6.20. Что такое структура?
- 1.6.21. Виды структур?
- 1.6.22. Виды абразивных инструментов?
- 1.6.23. Классы точности шлифовальных кругов?
- 1.6.24. Классы неуравновешенности шлифовальных кругов?
- 1.6.25. Условное обозначение шлифовального круга?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ВЛИЯНИЕ ИМПРЕГНИРОВАНИЯ

НА ТВЕРДОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

2.1. Цель работы

2.1.1. Приобретение практических навыков определения твердости абразивного инструмента.

2.1.2. Ознакомление студентов с методикой проведения импрегнирования шлифовальных кругов.

2.1.3. Произвести экспериментальное исследование влияния импрегнирования на твердость инструмента.

2.2. Оборудование и инструменты

2.2.1. Импрегнированный и стандартный абразивный инструмент.

2.2.2. Прибор «Звук-110М».

2.3. Теоретическая часть

2.3.1. Импрегнирование абразивного инструмента

Одним из наиболее доступных и эффективных способов совершенствования абразивного инструмента является *импрегнирование* – насыщение пор абразивного инструмента различными составами. Воздействуя на инструмент и процесс шлифования, импрегнирование снижает силы резания и расход инструмента, повышает качество обработанной поверхности. Импрегнатор, в частности, может выполнять функции твердой смазки, вступать во взаимодействие с обрабатываемым материалом.

В составах для импрегнирования абразивного инструмента используют инактивные, поверхностно- и химически-активные вещества, высокомолекулярные синтетические соединения.

2.3.2. Твердость абразивного инструмента и методы ее определения

Твердость абразивного инструмента характеризует прочность удержания зерна в связке круга. Поэтому из зерен самого твердого абразивного материала можно изготовить мягкие абразивные инструменты и, наоборот, из абразивного материала малой твердости можно изготовить твердые инструменты. Мягким абразивным инструментом в отличие от твердого называют такой, из которого абразивные зерна легко выкрашиваются.

2.3.2.1 Пескоструйный метод

Пескоструйный метод состоит в том, что на поверхность испытываемого круга под давлением направляется струя кварцевого песка, который оставляет на поверхности лунку. По глубине лунки судят о твердости круга. Глубину лунки измеряют в миллиметрах. Погрешность измерения - не более 0,05 мм (половина деления шкалы прибора).

Этим методом определяют твердость кругов на керамической и бакелитовой связках зернистостью от 200 до 12.

2.3.2.2 Метод вдавливания шарика

Измерение твердости методом вдавливания шарика заключается в том, что в поверхность круга под определенной нагрузкой вдавливается закаленный шарик. В мягком круге он оставляет более глубокую лунку,

чем в твердом. По глубине лунки судят о твердости кругов. Этим методом определяют твердость кругов на бакелитовой и вулканитовой связках зернистостью от *M12* до *M14*.

При измерении твердости методом вдавливания шарика применяют прибор типа ТР (Роквелл) по ГОСТ 23677; шарики диаметром 5 или 10 мм степеней точности от 3 до 40 по ГОСТ 3722.

2.3.2.3 Метод вдавливания конуса или цилиндра

Измерение твердости методом вдавливания конуса или цилиндра, так же как и метод вдавливания шарика, заключается в том, что в поверхность круга под определенной нагрузкой вдавливаются конус или цилиндр. По глубине получившейся лунки судят о твердости кругов. При измерении твердости применяют прибор типа ТКВ (модернизированный прибор Роквелла) с конусом или цилиндром.

Метод вдавливания конуса распространяется на шлифовальные круги наружным диаметром до 500 мм, высотой от 6 до 150 мм, зернистостями *F 100 - F 220* по ГОСТ Р 52381 и *M63 - M5* по ГОСТ 3647 на связке *R*, массой не более 20 кг.

Метод вдавливания цилиндра распространяется на гибкие полировальные круги наружным диаметром до 500 мм, высотой от 6 до 150 мм, зернистостями *F 100 - F 40* по ГОСТ Р 52381 на связке *R*, массой не более 20 кг.

Рассмотренные методы относятся к разрушающим видам контроля твердости шлифовальных кругов.

2.3.2.4 Акустический метод

К неразрушающим видам контроля относится акустический метод контроля твердости. Метод заключается в определении приведенной скорости распространения акустических волн в абразивном инструменте, по значению которой определяется звуковой индекс инструмента, связанный с его твердостью.

Для определения приведенной скорости распространения акустических волн применяются измерители частот собственных колебаний (приборы типа "Звук").

2.3.3. Принцип работы оборудования

Принцип действия прибора «Звук-110М» основан на возбуждении в изделии вынужденных колебаний, возбуждаемых пьезоэлектрическими преобразователями, и фиксировании резонансной частоты, соответствующей частоте собственных колебаний изделия. Состоит из электронного блока и измерительной стойки с вмонтированными в нее съемными пьезоэлектрическими преобразователями с куполообразными насадками.

2.4. Порядок проведения работы

2.4.1. Изучить методические указания к лабораторной работе.

2.4.2. Провести статистическую обработку данных измерений (таблица 2.1): рассчитать среднее значение скорости звука (2.1), дисперсию (2.2), стандартное отклонение (2.3), доверительный интервал (2.4) и коэффициент вариации (2.5).

Для проведения исследований была отобрана партия кругов производства ОАО «ВАЗ» типоразмера 1 200×20×76 твердостью K из двух видов

абразивных материалов: электрокорунда белого (25А) и карбида кремния зелёного (64С). В лаборатории ВПИ (филиала) ВолгГТУ, методом ультразвукового контроля на приборе «ЗВУК-110М» измерена их фактическая твердость.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (2.1)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n} \quad (2.2)$$

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2.3)$$

$$\bar{c} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} < x < \bar{c} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} \quad (2.4)$$

$$V = \frac{S}{\bar{c}} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

Таблица 2.1

Результаты измерений твердости кругов 25А и 64С

Материал		24А			64С		
Номер круга	Номер измерения	Скорость звука, м/с	Звуковой индекс	Твердость	Скорость звука, м/с	Звуковой индекс	Твердость
1	2	3	4	5	6	7	8
№1	1	5302	53	N	5402	55	K
	2	5293	53	N	5766	57	L
	3	5298	53	N	5766	57	L
	4	5314	53	N	5760	57	L
	5	5331	53	N	5687	57	L
	6	5376	55	O	5771	57	L
	7	5297	53	N	5707	57	L
	8	5321	53	N	5781	57	L
№2	1	5222	53	N	5675	57	L
	2	5209	53	N	5679	57	L
	3	5205	53	N	5679	57	L
	4	5205	53	N	5680	57	L
	5	5208	53	N	5663	57	L
	6	5238	53	N	5667	57	L
	7	5205	53	N	5692	57	L

Продолжение таблицы 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
№2	8	5215	53	N	5658	57	L
№3	1	5344	53	N	5863	59	M

	2	5424	55	O	5895	59	M
	3	5327	53	N	5885	59	M
	4	5304	53	N	5873	59	M
	5	5297	53	N	5879	59	M
	6	5306	53	N	5876	59	M
	7	5373	53	N	5915	59	N
	8	5264	53	N	5917	59	N
	8	5264	53	N	5917	59	N
№4	1	5243	53	N	5644	57	L
	2	5321	53	N	5622	57	L
	3	5277	53	N	5594	55	K
	4	5252	53	N	5580	55	K
	5	5284	53	N	5585	55	K
	6	5294	53	N	5563	55	K
	7	5248	53	N	5596	55	K
	8	5258	53	N	5585	55	K
№5	1	5209	53	N	5755	57	L
	2	5226	53	N	5788	57	L
	3	5226	53	N	5757	57	L
	4	5256	53	N	5766	57	L
	5	5230	53	N	5790	57	L
	6	5230	53	N	5767	57	L
	7	5222	53	N	5804	59	M
	8	5218	53	N	5767	57	L
№6	1	5344	53	N	5622	57	L
	2	5376	53	N	5645	57	L
	3	5337	53	N	5637	57	L
	4	5345	53	N	5628	57	L
	5	5376	53	N	5634	57	L
	6	5334	53	N	5648	57	L
	7	5323	53	N	5648	57	L
	8	5351	53	N	5631	57	L
№7	1	5230	53	N	5781	57	L
	2	5221	53	N	5770	57	L
	3	5207	53	N	5764	57	L
	4	5210	53	N	5758	57	L
	5	5213	53	N	5446	55	K
	6	5207	53	N	5804	59	M
	7	5207	53	N	5784	57	L
	8	5210	53	N	5790	57	L
№8	1	5261	53	N	5891	59	M
	2	5263	53	N	5897	59	M
	3	5249	53	N	5882	59	M
	4	5280	53	N	5888	59	M
	5	5278	53	N	5873	59	M

Окончание таблицы 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
№8	6	5238	53	N	5891	59	M
	7	5289	53	N	5894	59	M

№9	8	5275	53	N	5891	59	M
	1	5269	53	N	5816	59	M
	2	5292	53	N	5819	59	M
	3	5286	53	N	5836	59	M
	4	5275	53	N	5813	59	M
	5	5283	53	N	5816	59	M
	6	5283	53	N	5813	59	M
	7	5278	53	N	5810	59	M
№10	8	5283	53	N	5816	59	M
	1	5314	53	N	5793	57	L
	2	5309	53	N	5781	57	L
	3	5309	53	N	5784	57	L
	4	5303	53	N	5781	57	L
	5	5317	53	N	5784	57	L
	6	5323	53	N	5784	57	L
	7	5323	53	N	5793	57	L
	8	5340	53	N	5801	59	M

2.4.3. После проведения статистической обработки, студент определяет какие были отобраны круги для импрегнирования.

В качестве импрегнаторов использовали растворы гексахлорпара-силола $C_8H_4Cl_6$ (I), тетраметилтиурамдисульфида $C_6H_{12}N_2S_4$ (II), дитиодиморфолина $C_8H_{16}N_2O_2S_2$ (III).

2.4.4. На основании замеров твердости выбрать по 3 круга из электрокорунда и карбида кремния зеленого с ближайшими значениями скорости звука и наименьшей дисперсией.

2.4.5. Для того чтобы определить влияние импрегнатора на твердость круга следует провести измерение твердости импрегнированного инструмента (таблица 2.2).

2.4.6. Занести в таблицу 2.2 данные, полученные при статистической обработке таблицы 2.1 и измерений импрегнированного инструмента, сравнить между собой.

2.4.7. Студенту необходимо написать вывод о том, как импрегнирование влияет на твердость инструмента, на основании анализа данных таблицы 2.2.

Таблица 2.2

Изменение твёрдости шлифовального круга в результате импрегнирования

Импрегнатор	Параметры	25А		64С	
		исходный	импр.	исходный	импр.
I	Твёрдость				
	Звук. индекс				
	Средняя скорость звука, м/с				
	Дисперсия, $(\text{м/с})^2$				
	Ст. откл., м/с				
	Дов. интервал, м/с				
	Козф. вариации, %				
II	Твёрдость				
	Звук. индекс				
	Средняя скорость звука, м/с				
	Дисперсия, $(\text{м/с})^2$				
	Ст. откл., м/с				
	Дов. интервал, м/с				
	Козф. вариации, %				
III	Твёрдость				
	Звук. индекс				
	Средняя скорость звука, м/с				
	Дисперсия, $(\text{м/с})^2$				
	Ст. откл., м/с				
	Дов. интервал, м/с				
	Козф. вариации, %				

2.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, описание прибора, расчеты и рабочую таблицу 2.2, вывод.

2.6. Контрольные вопросы

2.6.1. Что такое твердость абразивного инструмента?

2.6.2. Какие методы определения твердость существуют?

2.6.3. Какие параметры определяются при измерении твердости акустическим методом?

2.6.4. Что такое импрегнирование?

2.6.5. Принцип работы прибора по измерению твердости акустическим методом?

2.6.6. Каково влияние импрегнирования абразивного инструмента на твердость круга?

2.6.7. Каково влияние материала зерна абразивного инструмента на твердость круга?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ВЛИЯНИЕ ИМПРЕГНИРОВАНИЯ НА НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

3.1. Цель работы

3.1.1. Приобретение практических навыков определения величины фактической неуравновешенности импрегнированных шлифовальных кругов.

3.1.2. Произвести экспериментальное исследование влияния импрегнирования на величину фактической неуравновешенности инструмента.

3.2. Оборудование и инструменты

3.2.1. Стенд для балансировки с цилиндрическими или с дисковыми направляющими.

3.2.2. Набор шлифовальных кругов.

3.2.3. Набор гирь и зажим.

3.2.4. Набор оправок.

3.2.5. Шлифовальный круг в сборе с планшайбой.

3.2.6. Уровень.

3.3. Теоретическая часть

Под *неуравновешенностью* абразивного инструмента понимают его состояние с таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опоре и его изгиб.

Под *дисбалансом* абразивного инструмента понимают векторную величину, равную произведению неуравновешенной массы на величину

смещения оси отверстия от номинального расположения. Вектор дисбаланса перпендикулярен к оси абразивного инструмента, проходит через центр неуравновешенной массы и вращается вместе с абразивным инструментом.

Неуравновешенность шлифовальных кругов определяется величиной неуравновешенной массы. Для определения неуравновешенности шлифовальные круги подвергаются статической балансировке. *Мерой неуравновешенности* является масса груза, которая, будучи сосредоточенной в точке периферии круга, противоположной центру тяжести, перемещает центр тяжести на ось вращения круга.

Существует 4 класса неуравновешенности для различного типоразмера кругов. Для обработки точных деталей применяют круги 1 и 2-ого классов неуравновешенности. Для первого класса допустимое значение неуравновешенных масс для круга составляет 6 г, для второго – 10 г, для третьего – 16 г, и 25 г для четвертого класса.

Для определения неуравновешенности масс круг закрепляют в планшайбу (рисунок 3.1), фланцы которой имеют круговые пазы, в которых перемещаются и крепятся компенсирующие сухарики 5 при дальнейшей балансировке инструмента.

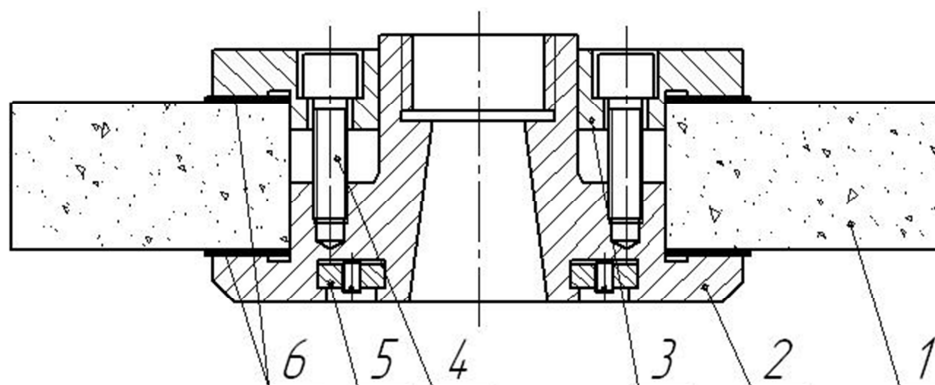


Рисунок 3.1 – Крепление шлифовальных кругов на планшайбе:

- 1 – шлифовальный круг; 2 – нижний фланец; 3 – верхний фланец;
4 – винт; 5 – компенсирующий сухарик; 6 – прокладки

Величину фактической неуравновешенности инструмента определяют на стенде. Круг, закрепленный на планшайбе, устанавливают на специальную оправку (рисунок 3.2) и вместе с ней на две опоры балансировочного приспособления (рисунок 3.3).

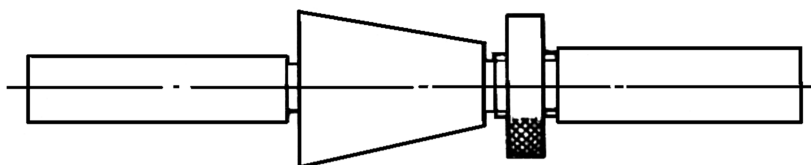


Рисунок 3.2 – Оправка

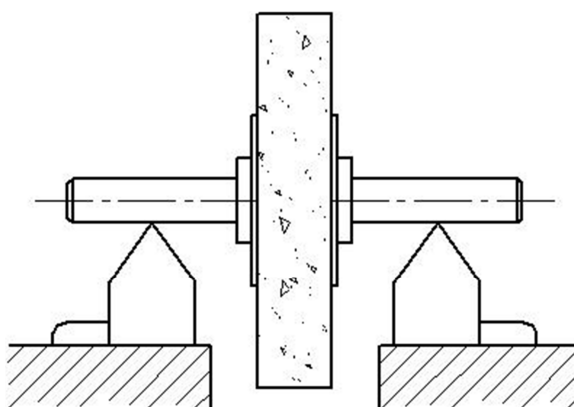


Рисунок 3.3 – Балансировочное приспособление

В качестве опор могут служить ножи (рисунок 3.3), цилиндрические валики, диски.

3.4. Порядок проведения работы

3.4.1. Изучить методические указания к лабораторной работе.

3.4.2. Для импрегнирования отобрали 6 шлифовальных кругов, 3 шт – из материала 25А и 3 шт – из материала 64С. Для каждого круга найти по таблице 3.1 допустимые значения неуравновешенных масс, их класс и записать в рабочую тетрадь.

3.4.3. После измерения неуравновешенности масс инструмента, круги импрегнировали растворами I, II и III и просушивали для удаления лишней влаги. В порах круга, остается импрегнатор, который заполняет объем неравномерно распределенных пор. Таким образом, должна выравниваться плотность по всему абразивному кругу, что приведет к уменьшению неуравновешенности и тем самым снизит вибрации в процессе эксплуатации инструмента.

Результаты измерений абразивного инструмента до импрегнирования представлены в таблице 3.1. Студенту необходимо произвести измерение неуравновешенности масс кругов после импрегнирования, занести результаты в таблицу 3.1 и провести их анализ.

3.4.4. Методика определения неуравновешенности масс:

3.4.4.1. Протереть направляющие станда.

3.4.4.2. Установить круг на оправку.

3.4.4.3. Установить оправку с кругом на направляющие станда.

3.4.4.4. Легким толчком придать кругу медленное вращение.

Таблица 3.1

Изменение массы груза после импрегнирования кругов

Импрегнатор	Параметры	25А		64С	
		исходный	импр.	исходный	импр.
I	m круга, кг	1,16		1,098	
	m груза, г	3		7	
	класс неуравновешенности	1		2	
II	m круга, кг	1,172		1,066	
	m груза, г	6		12	
	класс неуравновешенности	1		3	
III	m круга, кг	1,177		1,069	
	m груза, г	4		3	
	класс неуравновешенности	1		1	

3.4.4.5. После остановки отметить самую легкую часть круга (верхнюю). Повернуть круг примерно на 90° в одну и в другую стороны. Если

после каждого поворота круг останавливается так, что отметка оказывается в одном и том же верхнем положении, то часть круга, свидетельствующая о смещении центра тяжести, определена правильно.

3.4.4.6. Установить зажим в верхней точке периферии круга.

3.4.4.7. Повернуть круг с зажимом на 90° .

3.4.4.8. Повесить на зажим грузик с массой, соответствующей допустимому значению неуравновешенной массы для 1 класса неуравновешенности. Если под действием этого груза круг остается в покое, то он удовлетворяет требованиям данного класса неуравновешенности.

3.4.5. Результаты испытания занести в таблицу 3.1.

3.5. Содержание отчета

Отчет включает название работы, цель, определение неуравновешенности импрегнированных кругов, таблицу экспериментальных данных. По результатам выполнения, следует написать вывод о влиянии импрегнирования на неуравновешенность шлифовальных кругов на основании проанализированных результатов измерений.

3.6. Контрольные вопросы

3.6.1. Что такое неуравновешенность круга и мера неуравновешенности?

3.6.2. Что такое дисбаланс круга?

3.6.3. Что является мерой неуравновешенности, единицы измерения?

3.6.4. Что такое импрегнирование?

3.6.5. Какие бывают классы неуравновешенности?

3.6.6. Как определяют фактическую неуравновешенность инструмента?

3.6.7. Как влияет импрегнирование на неуравновешенность инструмента?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ

4.1. Цель работы

Ознакомление с методикой определения касательной и радиальной составляющих силы шлифования.

4.2. Оборудование и инструменты

4.2.1. Плоскошлифовальный станок модели 3711.

4.2.2. Динамометр с усилителем.

4.2.3. Аналого-цифровой преобразователь.

4.2.4. Приспособление для тарировки с набором грузов.

4.2.5. ЭВМ с программным обеспечением L-CARD.

4.3. Теоретическая часть

Шлифование – это обработка резанием, осуществляемая множеством абразивных зерен, при которой инструмент совершает только вращательное движение, которое является главным движением резания, а заготовка – любое другое движение.

На металлорежущих станках различают главное движение резания и движения подачи (рисунок 4.1). *Главное движение* осуществляет процесс резания и в общем случае – это прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. *Скорость главного движения* определяется скоростью рассматриваемой точки режущей кромки в глав-

ном движении резания. Скорость главного движения (скорость резания) измеряют в точке, максимально удаленной от центра шлифовального круга, которую называют *рабочей скоростью*.

Движение подачи – это поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

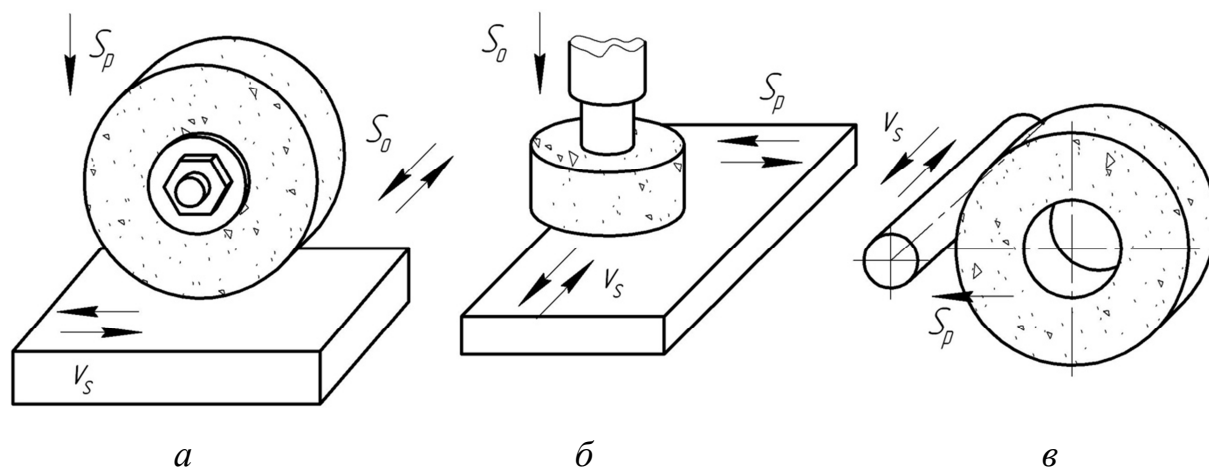


Рисунок 4.1. – Схемы подач при шлифовании
периферией (а) и торцом (б) круга, при круглом наружном шлифовании (в)

Под *обрабатываемой* поверхностью понимают поверхность заготовки, которая частично или полностью удаляется при шлифовании, под *обработанной* – поверхность, образованную на заготовке в результате обработки.

Глубина резания t – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно к последней, за один цикл движения подачи.

Скорость движения подачи – это скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи. Численное значение скорости движения подачи определяют как отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой заготовки или шлифовальным кругом вдоль траектории этой точки в движении подачи к времени или соответствующему

числу циклов другого движения. Под циклом понимают полный оборот, ход или двойной ход заготовки или режущего инструмента. Ход представляет собой движение в одну сторону при возвратно-поступательном перемещении заготовки или инструмента. В зависимости от направления движения различают следующие движения подачи: круговую, продольную, осевую, радиальную и др. Подачу называют по соответствующему виду движения подачи.

По характеру обрабатываемых поверхностей технологические схемы шлифования делятся на три основных вида: *круглое шлифование* – обработка наружной или внутренней поверхности вращения; *плоское шлифование* – обработка плоской поверхности; *профильное шлифование* – обработка поверхности, образующая которой кривая или ломаная линия.

Плоское шлифование предназначено для обработки плоских поверхностей, его широко используют при изготовлении технологической оснастки (приспособления, штампы, пресс-формы), при обработке направляющих станин металлорежущих станков и др.

По направлению векторов скорости шлифовального круга и скорости движения изделия различают *встречное* и *попутное* шлифование. Для встречного шлифования векторы скорости круга и изделия в точке взаимного касания направлены в противоположные стороны, для попутного – векторы скоростей совпадают по направлению.

По виду рабочей поверхности инструмента различают шлифование *периферией* (рисунок 4.1, а) и *торцом круга* (рисунок 4.1, б).

При круглом и плоском шлифовании на станках с вращающимся столом заготовка совершает вращательное или круговое движение, поэтому подачу называют *круговой*. При плоском шлифовании на станках с прямоугольным столом заготовка совершает возвратно-поступательное движение вдоль направляющих стола. Подача в данном направлении назы-

вается *продольной*. Круговую и продольную подачи называют еще *скоростью движения подачи* v_s и измеряют в м/мин или мм/мин.

Осевой подачей S_o называют подачу, выполняемую в направлении оси шлифовального круга. При круглом шлифовании осевую подачу называют *продольной*, по аналогии с продольной подачей для токарной обработки. При плоском шлифовании периферией круга осевая подача может называться *поперечной*.

Радиальная подача S_p – это подача, осуществляемая в направлении радиуса круга в точке его взаимодействия с заготовкой. Осевая и радиальная подачи для некоторых видов обработки соответствуют глубине шлифования, например, радиальная при круглом и плоском шлифовании периферией круга.

При срезании стружек на абразивные зерна шлифовального круга действуют силы сопротивления металла разрушению – *силы резания*.

При шлифовании различают силы резания шлифовальным кругом и одним шлифующим зерном. Силу резания шлифовальным кругом рассматривают в виде составляющих сил (рисунок 4.2): радиальной P_y , касательной P_z и осевой P_x .

Сила P_y , направленная перпендикулярно (нормально) к режущей поверхности круга, является реакцией обрабатываемой детали против стремления круга внедрить зерна в обрабатываемую деталь и деформировать ее. Сила P_y при круглом или плоском шлифовании стремится изогнуть шпиндель, на котором закреплен круг, а при торцовом – прижать шпиндель к осевым подшипникам.

Сила P_z совпадает по направлению со скоростью главного движения резания в точке контакта с заготовкой. Сила P_z определяет крутящий момент и мощность, которую необходимо затратить на шлифование.

Сила P_x действует в плоскости шлифования, вызывая дополнительный изгиб шпинделя. При шлифовании, когда микрорезание осуществляют

одновременно большое количество зерен, радиальная сила P_y всегда больше составляющей силы P_z , причем соотношение между P_y и P_z , изменяется в зависимости от режимов шлифования ($P_y/P_z = (1 \div 3)$, а $P_x = (0,1 \div 0,2) \times P_z$).

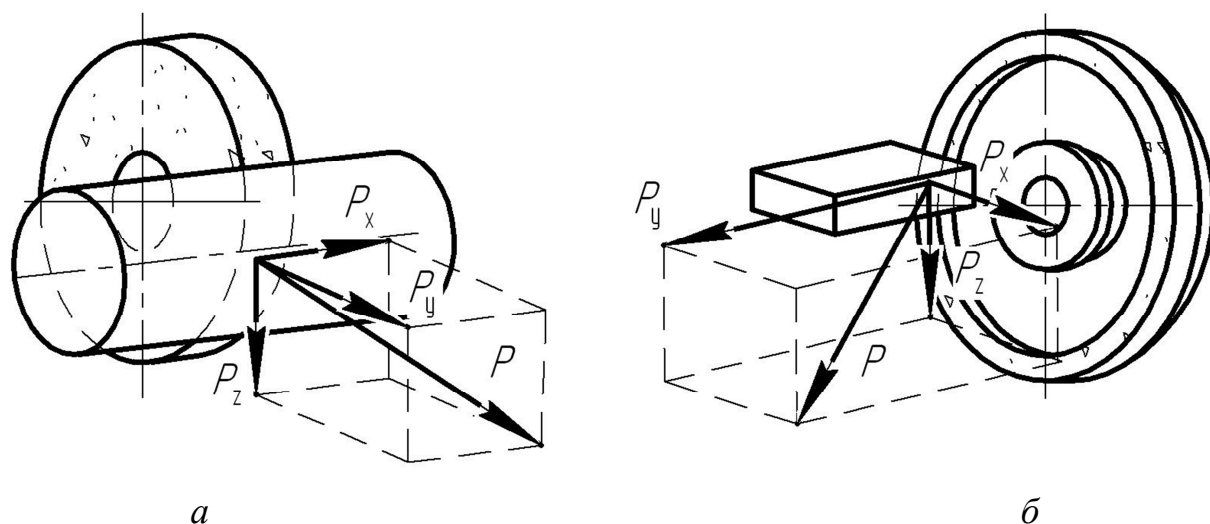


Рисунок 4.2. – Силы резания при шлифовании:

а – при круглом шлифовании периферией круга;

б – при плоском шлифовании торцом круга

Превышение силы P_y по сравнению с силой P_z объясняется малым сечением срезаемого слоя металла и наличием отрицательных передних углов у зерен шлифовального круга.

Сила резания P_z увеличивается с повышением скорости детали, подачи и глубины шлифования, но уменьшается с повышением скорости круга. С уменьшением диаметра в результате износа круга снижается его скорость, и сила P_z возрастает.

Силы резания при шлифовании зависят от схемы обработки, свойств материала детали, режимов резания, площади контакта круга с деталью, характеристики абразивного круга, наличия охлаждения и состояния оборудования (жесткости, виброустойчивости).

4.4. Порядок проведения работы

4.4.1. Изучить методические указания к лабораторной работе.

4.4.2. Записать режимы шлифования в таблицу 4.1 (обрабатываемый материал, вид инструмента, вид и концентрация СОЖ, режимы правки и шлифования назначаются преподавателем).

4.4.3. Используя набор гирь произвести тарировку для составляющих силы P_y и P_z . Статическая тарировка производится с помощью специального приспособления (рисунок 4.3). Последовательное добавление грузов на опору фиксируется на диаграмме. При известной массе грузов и показателям на диаграмме расчетным путем определяем значение усилия приходящегося на 1 мм диаграммы. Результаты тарировки занести в таблицу 4.2.

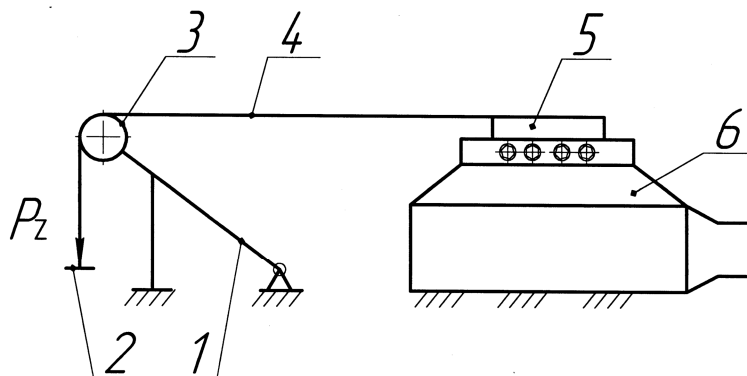


Рисунок 4.3. – Схема тарировки касательной составляющей силы резания (P_z):

1 – кронштейн; 2 – опора для груза; 3 – блок; 4 – трос; 5 – струбцина;
6 – динамометр

4.4.4. Определить размеры поверхности образца предназначенного для шлифования.

4.4.5. Зажать образец в динамометре, установленном на магнитном столе, так, чтобы его боковые стороны были параллельны торцам круга. Включить станок и установить необходимые режимы обработки (работы на станке производит лаборант).

5.4.6. Коснуться кругом обрабатываемой поверхности образца. Для взаимодействия профиля круга со всей поверхностью образца необходимо снять небольшой припуск.

Таблица 4.1

№ п/п	v , м/с	v_s , м/мин	Подача на двойной ход S_{2x} , мм/дв. ход	P_y , Н	P_z , Н
1					
2					
3					
4					
5					

Таблица 4.2

Тарировочные данные

Нагрузка, кг	Длина по осциллограмме l , мм

5.4.7. Произвести правку круга.

5.4.8. Вновь коснуться поверхности образца. Включить подачу СОЖ.

5.4.9. Осуществить пять рабочих ходов.

4.4.10. Выключить продольную подачу стола, прекратить подачу СОЖ и остановить вращение круга.

4.4.11. Снять показания значений сил и занести их в таблицу 4.1.

4.4.12. Определить средние значения сил и их доверительные интервалы.

4.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, условия проведения опытов, расчетные формулы и рабочие таблицы 4.1 и 4.2.

4.6. Контрольные вопросы

- 4.6.1. Что такое шлифование?
- 4.6.2. Три основные технологические схемы шлифования?
- 4.6.3. Что такое встречное и попутное шлифование?
- 4.6.4. Элементы режима резания при шлифовании?
- 4.6.5. Главное движение при шлифовании?
- 4.6.6. Что такое рабочая скорость и как её определяют ?
- 4.6.7. Движение подачи?
- 4.6.8. Скорость движения подачи?
- 4.6.9. Виды подач?
- 4.6.10. Силы резания при шлифовании?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА И РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

5.1. Цель работы

5.1.1. Ознакомление с основными характеристиками работы абразивных инструментов и методами их правки.

5.1.2. Усвоение студентами методики определения режущей способности и коэффициента шлифования кругов при плоском шлифовании.

5.2. Оборудование и инструменты

5.1. Плоскошлифовальный станок модели 3711.

5.2. Микрометр типа МК с ценой деления 0,001 мм, ГОСТ 6507-90.

5.3. Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм, ГОСТ 577-68.

5.4. Штангенциркуль ШЦ-I-500-0,1 ГОСТ 166-89.

5.5. Ключ гаечный – 24 мм.

5.3. Теоретическая часть

5.3.1. Общие сведения

Под *рабочей поверхностью* понимают поверхность абразивного инструмента, контактирующую с обрабатываемой заготовкой при абразивной обработке.

Изнашивание абразивного инструмента заключается в постепенном отделении частиц рабочего слоя, приводящее к уменьшению его массы и размеров при абразивной обработке. Под *рабочим слоем* понимается часть

абразивного инструмента, непосредственно предназначенная для абразивной обработки и расходуемая при этом.

Износ является результатом изнашивания и определяется количеством отделившихся вследствие изнашивания частиц рабочего слоя абразивного инструмента.

В зависимости от величин, в которых выражают количество отделившихся частиц рабочего слоя (масса, объем, площадь), различают *массовый, объемный и поверхностный износ*.

Скорость изнашивания абразивного инструмента определяется отношением износа инструмента к времени, в течение которого износ произошел.

Износостойкость – величина обратная скорости изнашивания абразивного инструмента. В зависимости от износа различают массовую, объемную и поверхностную скорости изнашивания и износостойкость абразивного инструмента.

При степени сверхдопустимого износа абразивного инструмента необходимо производить его правку.

Правка абразивного инструмента – приведение рабочей поверхности абразивного инструмента в работоспособное состояние.

Необходимость правки вызывается также затуплением и засаливанием режущей поверхности кругов. Затупление ведет к возникновению вибраций и характерному шуму, по которому шлифовщики определяют необходимость правки.

Затупление абразивного инструмента – образование площадок на поверхности абразивных зерен, приводящее к изменению профиля рабочей поверхности и уменьшению режущей способности абразивного инструмента при абразивной обработке.

Засаливание абразивного инструмента – перенос на рабочую поверхность абразивного инструмента частиц шлама при абразивной обра-

ботке. Шлам включает частицы обрабатываемого материала, инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости и др.

От правильного выбора средств и режимов правки зависят шероховатость обработанной поверхности детали, производительность обработки, расход шлифовальных кругов, износостойкость правящего инструмента и себестоимость операции.

Широко применяемые шлифовальные круги зернистостью $F60 - F40$ и твердостью $L - P$ в основном расходуются не в процессе шлифования, где износ их крайне мал, а в процессе правки. На правку расходуется от 45 до 80% рабочего слоя абразивных кругов при круглом, плоском и внутреннем шлифовании. Затраты времени на правку могут достигать 40% штучного времени обработки и более.

В зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности осуществляют алмазную и безалмазную правку следующими методами (рисунок 5.1):

- обтачивание алмазным инструментом (рисунок 5.1, а);
- обкатывание абразивными, твердосплавными и металлическими дисками (рисунок 5.1, б);
- шлифование кругами из карбида кремния и алмазно-металлическими роликами (рисунок 5.1, в);
- тангенциальное точение профильной поверхности круга алмазным инструментом (рисунок 5.1, г);
- накатывание накатным роликом (рисунок 5.1, д).

Правка методом обтачивания (см. рисунок 5.1, а) представляет собой процесс высокоскоростного разрушения твердого абразивного материала и связки шлифовального круга. Правка осуществляется либо отдельными сравнительно крупными алмазными зернами, зачеканенными в державку, либо алмазно-металлическими карандашами диаметром 8 – 10 мм. Правящий инструмент выполняет роль резца, скорость обтачивания

определяется скоростью вращения шлифовального круга.

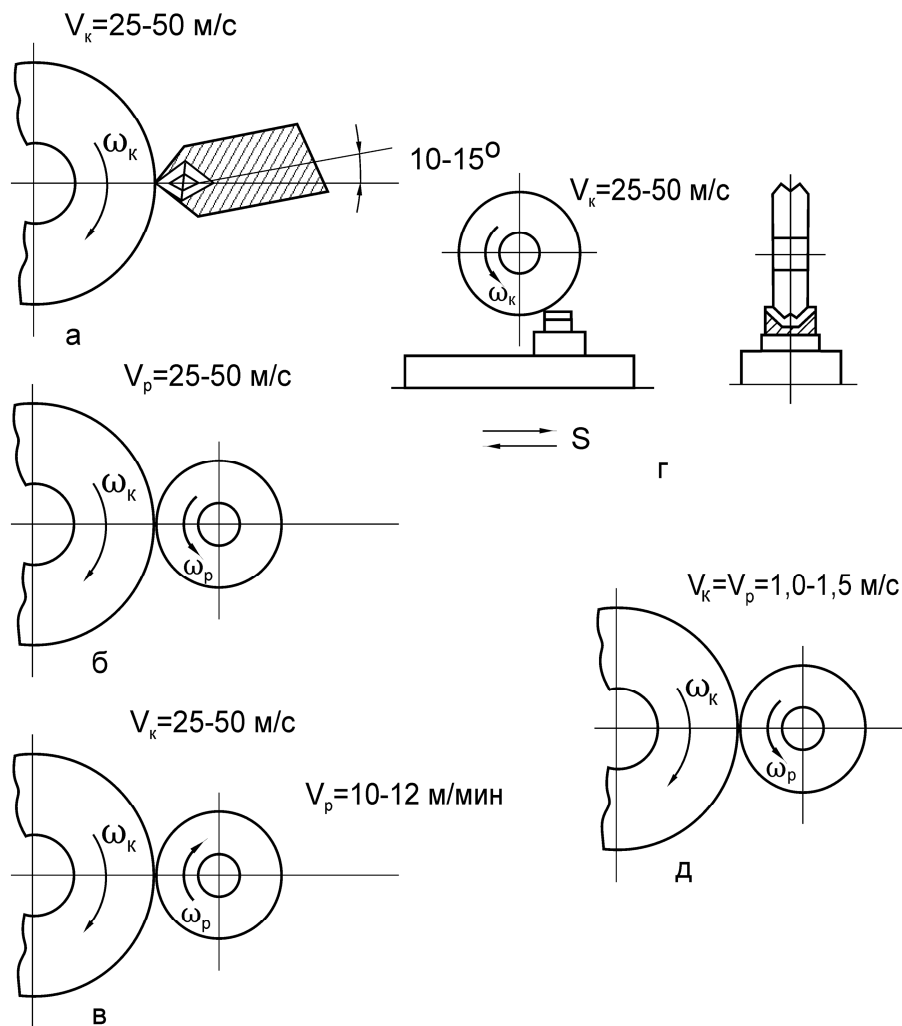


Рисунок 5.1. – Методы правки шлифовальных кругов:

a – обтачиванием; *б* – обкатыванием; *в* – шлифованием;

г – тангенциальным точением; *д* – накатыванием

Наибольшее применение имеют алмазно-металлические карандаши, в которых кристаллы алмазов размещены в определенном порядке и прочно скреплены специальным сплавом. Коэффициент теплового расширения сплава должен быть близок к коэффициенту теплового расширения алмаза, поэтому при изменениях температуры в процессе правки алмазы не испытывают дополнительных тепловых деформаций.

Для правки кругов используются четыре типа алмазно-металлических карандашей: 01 – с алмазами, расположенными цепочкой

вдоль оси карандаша; 02 – с алмазами, расположенными слоями; 03 – с алмазами, расположенными на сферической поверхности; 04 – с неориентированным расположением алмазов.

Каждый тип карандашей подразделяется на марки, отличающиеся массой и количеством алмазов, а также размерами вставки и оправы. В карандаши типа 01 в правке принимает участие только одно зерно, поэтому усилия правки минимальные. Их целесообразно использовать при правке кругов на операциях внутреннего шлифования, а также для круглого, бесцентрового и фасонного шлифования, при правке кругов диаметром до 150 мм. Карандаши типа 02 работают несколькими зернами, обладают повышенной износостойкостью и применяются при чистовом шлифовании для правки шлифовальных кругов диаметром более 200 мм всех степеней твердости. Карандаши типа 03 применяются при правке шлифовальных кругов твердости *M* и ниже, для правки мелкозернистых шлифовальных кругов на операциях круглого и бесцентрового шлифования, резьбо-, зубо- и шлицешлифования.

Правка методом обкатывания (см. рисунок 5.1, б) представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен на рабочей поверхности круга правящим инструментом, получающим вращение от быстровращающегося шлифовального круга. В качестве правящих инструментов применяются:

- круги из карбида кремния 54 С *F24 T – Z V*;
- твердосплавные монокристаллические ролики;
- крупнозернистые твердосплавные ролики на металлической связке.

Под действием режущей кромки правящего инструмента, перемещающейся по образующей шлифовального круга со скоростью, равной величине продольной подачи, поверхностный слой связки разрушается, выступающие зерна выкрашиваются, а зерна, сидящие глубже в связке, раскалываются на части.

Правка кругов методом обкатывания безалмазными правящими инструментами чаще всего применяется как предварительная, когда необходимо снять большой слой абразива с недостаточно хорошо сбалансированного круга при значительной его неуравновешенности и неравномерности слоя снимаемого абразива. При такой правке используются стальные диски, звездочки и шарошки, устанавливаемые в специальные правящие приспособления.

Правка методом обкатывания используется исключительно при профилировании шлифовальных кругов из электрокорунда и карбида кремния. Алмазные и эльборные круги профилировать этим методом не рекомендуется из-за значительного силового воздействия правящего инструмента на рабочий слой, вызывающего повышенный его износ и низкую размерную стойкость инструмента.

Правка методом шлифования (см. рисунок 5.1, в) представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен медленно вращающимся правящим инструментом, который получает принудительное вращение от самостоятельного привода или от привода передней бабки шлифовального станка. В качестве правящего инструмента применяются крупнозернистые алмазные ролики на твердосплавной связке и круги из карбида кремния высокой степени твердости.

При этом методе, вследствие разности скоростей шлифовального круга и правящего инструмента, происходит скалывание частичек абразивных зерен, а иногда – выкрашивание целых зерен под давлением правящего инструмента.

Для правки кругов методом шлифования применяются круги из карбида кремния на керамической связке зернистостью $F36 - F16$, степени твердости $O - U$, диаметром 60 – 250 мм.

В настоящее время для этого вида правки все большее применение находят алмазно-металлические ролики, получающие принудительное

вращение по направлению вращения шлифовального круга или против него. Они позволяют осуществлять правку кругов по нескольким рабочим поверхностям: прямолинейным, криволинейным и их сочетаниям. Такая правка за счет одновременной обработки нескольких поверхностей, а также за счет сокращения времени на правку круга позволяет значительно повысить производительность шлифования.

Правка методом тангенциального точения (см. рисунок 5.1, з) представляет собой процесс, аналогичный процессу обтачивания, и осуществляется путем срезания абразивных зерен алмазным бруском. Операция выполняется на плоскошлифовальных станках по всей рабочей поверхности круга при продольном перемещении станка.

Брусок с профилем, соответствующим профилю шлифуемой детали, закрепляется на столе станка за деталью. Шлифовальный круг при каждой подаче на глубину приводится в соприкосновение с фасонной поверхностью бруска. Такой контакт круга с правящим алмазным бруском позволяет постоянно обновлять его профиль и тем самым обеспечивать высокое качество обрабатываемых поверхностей деталей, точность размеров и стабильность профиля.

Правка методом тангенциального точения широко применяется при шлифовании эльборовым и алмазным инструментом на органической и керамической связках. Для правки кругов из эльбора находят применение профильные бруски из алмазов и карбида кремния, для восстановления формы и режущих свойств алмазных кругов – бруски из зеленого карбида кремния и белого электрокорунда средней твердости.

Правка методом накатывания (см. рисунок 5.1, д) рабочей поверхности круга представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении накатного ролика и круга. Применяется исключительно для правки профильных шлифовальных кругов. Правящим инструментом служит фасонный стальной ролик, имеющий

профиль обрабатываемой детали.

Накатывание ведется при скорости 1 – 1,5 м/с с поперечной подачей 0,05 – 0,06 мм/мин. В зависимости от конструктивных особенностей станка вращение при накатке получает либо шлифовальный круг, либо ролик. В результате взаимного вращения ролика с кругом и высокого давления, создаваемого в зоне контакта подачей на глубину правки, на рабочей поверхности круга происходит разрушение абразивных зерен и связки. Правка продолжается до тех пор, пока круг не приобретет такую форму профиля, которая позволяет получить заданный профиль детали. Износ ролика вследствие незначительного скольжения при правке между роликом и кругом сравнительно невелик, поэтому одним и тем же роликом можно производить многократную правку. Накатывание профиля рабочей поверхности круга предпочтительнее осуществлять роликом, приводимым во вращение от отдельного электродвигателя. Этот привод обеспечивает большую точность профилирования круга при меньшем износе самого ролика, а также сокращает время наката за счет исключения времени на наладку приспособления.

5.3.2. Определение режущей способности и коэффициента шлифования круга при плоском шлифовании

Коэффициент шлифования представляется отношением наработки к износу. *Наработка* определяется массой или объемом снятого в процессе абразивной обработки обрабатываемого материала, или площадью обработанной поверхности. В зависимости от наработки и износа различают коэффициент шлифования по массе, объему и площади.

Согласно ГОСТ 2424 коэффициент шлифования кругов рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{W_m}{W_a}, \quad (5.1)$$

где W_m – объем снятого металла (объемная наработка), мм^3 ;

W_a – объем изношенной части шлифовального круга, мм^3 .

Значение W_a определяется с учетом расхода круга на правку, однако в данной лабораторной работе эта составляющая износа круга не учитывается.

Износ круга вызывает нарушение правильной геометрической формы его рабочей поверхности: появление овальности, криволинейности образующей, неплоскостности, волнистости. Наблюдаются существенные изменения микрорельефа рабочей поверхности круга, связанные с изменением характера распределения зерен. Эти отклонения снижают точность обработки и вызывают волнистость на шлифованной поверхности, ухудшают другие показатели качества обработанной поверхности. Засаливание и затупление рабочей поверхности круга снижают режущую способность.

Режущая способность абразивного инструмента – отношение наработки абразивного инструмента к времени резания.

Потеря режущей способности круга, работающего в режиме затупления, сопровождается не только увеличением вибраций, но и повышением уровня шума. В индивидуальном и мелкосерийном производстве этот критерий стойкости используется опытными рабочими-шлифовщиками. Применение же специальных шумоизмерительных приборов в производственных условиях не всегда целесообразно, в связи с возможным влиянием посторонних звуков, в том числе, шума от струи смазочно-охлаждающей жидкости.

Режущую способность шлифовальных кругов (приведенную к единице высоты круга) Q_m , $\text{мм}^3/\text{мин} \cdot \text{мм}$, рассчитывают по формуле:

$$Q_m = \frac{W_m}{t_o H}, \quad (5.2)$$

где W_m – объем снятого металла, мм³;

t_0 – основное время шлифования, мин;

H – высота круга, мм.

Основное время шлифования будем определять по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{S \cdot 1000} i, \quad (5.3)$$

где L – расчетная длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм;

S – продольная подача, м/мин;

i – число рабочих ходов.

Длина обрабатываемой поверхности определяется длиной обрабатываемой детали L_d , длиной врезания L_1 и перебега L_2 инструмента:

$$L = L_d + L_1 + L_2. \quad (5.4)$$

5.4. Порядок проведения работы

5.1.1. Изучить методические указания к лабораторной работе.

5.1.2. Записать режимы шлифования в таблицу 5.1 (обрабатываемый материал, вид инструмента, вид и концентрация СОЖ, режимы правки и шлифования назначаются преподавателем).

5.1.3. Определить размеры поверхности образца предназначенного для шлифования.

5.1.4. Закрепить образец на магнитном столе так, чтобы его боковые стороны были параллельны торцам круга. Включить станок и установить необходимые режимы обработки (работы на станке производит лаборант).

5.1.5. Коснуться кругом обрабатываемой поверхности образца. Для взаимодействия профиля круга со всей поверхностью образца необходимо

снять небольшой припуск (взаимодействие круга со всей поверхностью предназначенной для обработки определяем визуально).

5.1.6. Произвести правку круга.

Таблица 5.1

№ п/п	v , м/с	v_s , м/мин	S_{2x} , мм/дв. ход	t_o , мин	$W_{m,3}$, мм ³	W_a , мм ³	K	Q_m

5.1.7. С помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм, установленного на специальных держателях, зафиксировать начальный уровень поверхности предназначенной для обработки.

5.1.8. Вновь коснуться поверхности образца. Включить подачу СОЖ.

5.1.9. Снять требуемую величину припуска (обратный ход стола осуществлять без подачи на врезание).

5.1.10. Выключить продольную подачу стола, прекратить подачу СОЖ и остановить вращение круга.

5.1.11. С помощью индикатора замерить величину фактически снятого припуска (линейный съем металла) и определить объем снятого металла.

5.1.12. С помощью микрометра произвести измерения износа круга. Сначала фиксируем значения индикатора в четырех точках неизношенной части круга – зона А, а затем в четырех точках изношенной части – зона Б. Измерения производим в каждой из указанных точек периферии круга (рисунок 5.2). Для установки круга в необходимое положение гаечным ключом поворачиваем головку болта крепления планшайбы против часовой стрелки. Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

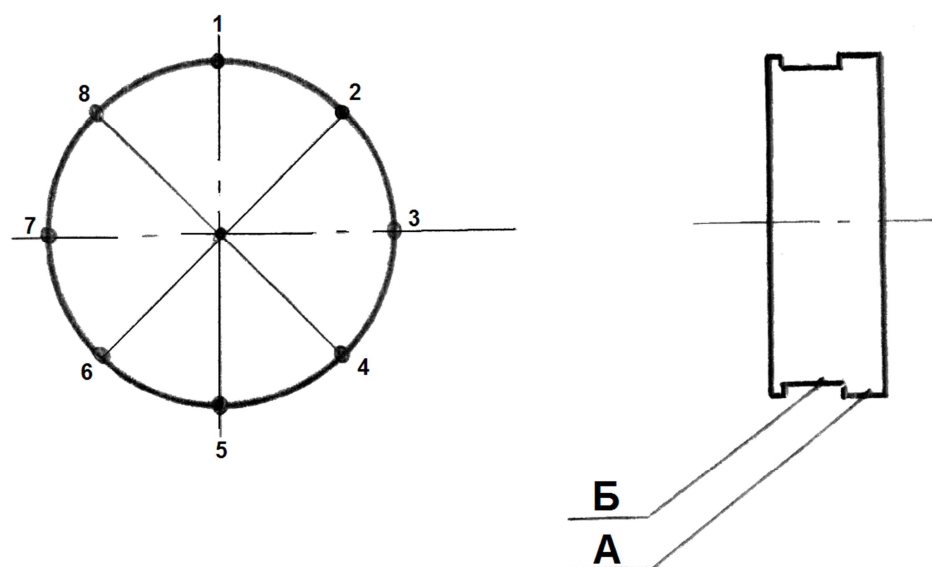


Рисунок 5.2. – Схема измерения износа круга

Таблица 5.2

Результаты измерений износа круга (мкм)

Положения круга		1	2	3	4
1	А				
	Б				
	Δ				
2	А				
	Б				
	Δ				
3	А				
	Б				
	Δ				
4	А				
	Б				
	Δ				
5	А				
	Б				
	Δ				
6	А				
	Б				
	Δ				
7	А				
	Б				
	Δ				
8	А				
	Б				
	Δ				
среднее значение износа					
дисперсия износа, мкм ²					
Примечание – Δ – величина износа					

5.1.13. Проверить полученные дисперсии (см. таблицу 5.2) на однородность по критерию Кохрена (8.10). При принятии гипотезы определить среднее значение объема изношенной части круга и доверительный интервал. При отклонении гипотезы об однородности дисперсий увеличить число участков измерения на круге.

5.1.14. Найти средние значения объема изношенной части шлифовального круга W_a и объема снятого металла W_m .

5.1.15. По формулам 5.1, 5.2, 5.3 определить значения коэффициента шлифования и режущей способности круга. Полученные средние значения показателей занести в таблицу 5.1.

5.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, рисунок 2, расчетные формулы и рабочие таблицы 5.1 и 5.2.

5.6. Контрольные вопросы

- 5.6.1. Сущность плоского шлифования, чем оно характеризуется?
- 5.6.2. Глубина резания?
- 5.6.3. Рабочая поверхность круга, ее виды?
- 5.6.4. Понятие износа, изнашивания и скорости изнашивания?
- 5.6.5. Разновидности износа?
- 5.6.6. Что такое правка абразивного инструмента?
- 5.6.7. Затупление и засаливание абразивного инструмента?
- 5.6.8. Как определяется коэффициент шлифования?
- 5.6.9. Как определяются режущая способность круга и время шлифования?
- 5.6.10. Методы правки?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИСПЫТАНИЕ КРУГОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ

6.1. Цель работы

6.1.1. Ознакомление с методикой испытания шлифовальных кругов на безопасность работы.

6.1.2. Ознакомление со стендом испытательным прочностным СИП–800К1

6.2. Оборудование и инструменты

6.2.1. Стенд СИП–800К1.

6.2.2. Ключ гаечный – 32 мм.

6.3. Теоретическая часть

6.3.1. Общие сведения

Согласно ГОСТ 12.3.028 при обработке материалов абразивным и эльборовым инструментами опасными производственными факторами являются:

- а) разрыв шлифовального круга;
- б) отрыв эльборосодержащего слоя от корпуса круга;
- в) отрыв сегментов от корпуса инструмента.

Чтобы избежать вышеуказанные последствия все абразивные круги диаметром 150 мм и выше, предназначенные для работы с окружными скоростями от 15 м/с и выше (за исключением отрезных кругов на бакелитовой связке, работающих со скоростью 50 м/с и выше), должны испыты-

ваться вращением при скорости, превышающей рабочую скорость, указанную на маркировке круга, на 50 %.

Продолжительность вращения с испытательным числом оборотов должна составлять:

- для кругов диаметром до 150 мм с рабочей окружной скоростью свыше 40 до 65 м/с – 3 мин;
- для кругов диаметром от 150 до 475 мм – 5 мин;
- для кругов диаметром свыше 475 мм – 7 мин;
- для кругов диаметром свыше 500 мм – 10 мин.

Шлифовальные круги (кроме эльборовых), подвергшиеся механической переделке или химической обработке, а также круги, срок хранения которых истек, должны быть повторно испытаны на механическую прочность.

В паспорт круга предприятием-потребителем должна быть внесена дата проведения испытания инструмента на механическую прочность и подпись лица, ответственного за проведение испытаний, а на нерабочей части круга должна быть сделана отметка краской или наклеен ярлык с указанием номера и даты испытаний. Эти испытания не заменяют обязательные испытания кругов на шлифовальных станках перед запуском в работу.

При установке шлифовального круга на станок перед началом работы его должны подвергнуть вращению вхолостую с рабочей скоростью в течение следующего времени:

- круги диаметром до 150 мм – 1 мин;
- круги диаметром св. 150 до 400 мм – 2 мин;
- круги диаметром св. 400 мм – 5 мин;
- эльборовые круги – 2 мин.

При уменьшении диаметра круга вследствие его срабатывания число оборотов круга может быть увеличено, но без превышения рабочей скорости, допустимой для данного круга.

Испытание шлифовальных кругов осуществляется на специальных стендах, конструкция которых обеспечивает возможность постепенного и плавного доведения скорости до испытательной. Испытываемый инструмент, установленный на шпинделе станда, заключен в камеру, обеспечивающую защиту работающего от осколков круга при его возможном разрыве.

Перед испытанием шлифовальный круг должен быть осмотрен. Круги не должны иметь отслаивания эльборосодержащего слоя и трещин. Круги на керамической связке должны быть проверены на отсутствие трещин простукиванием его в подвешенном состоянии деревянным молоточком массой 150÷200 грамм. Круг без трещин должен издавать чистый звук.

Перед началом испытаний камера испытательного станда должна быть очищена от посторонних предметов. После того как круг установили, закрепили и закрыли дверки камеры, включают станд и производят испытание, обеспечивая плавное нарастание скоростей вращения до испытательной в течение не менее 10 секунд. Испытательная скорость должна сохраняться без колебаний в течение установленного для испытания времени выдержки, после чего обеспечивается плавное снижение скорости.

Испытательный станд снабжен указателем частоты вращения шпинделя и имеет блокировку, исключающую включение привода при открытых дверцах камеры и открывание камеры до снятия испытательной нагрузки.

6.2. Методика определения параметров испытаний

При назначении числа оборотов шпинделя станка, исходя из рабочей скорости шлифовального круга, используют следующую формулу:

$$n = \frac{1000 \, v_{\text{раб.}}}{\pi D}, \quad (6.1)$$

где $v_{\text{раб.}}$ – рабочая скорость шлифовального круга, м/с;

D – наружный диаметр круга, мм.

Испытательная скорость шлифовальных кругов $v_{\text{и.}}$ должна в 1,5 раза превышать рабочую скорость круга, т.е. $v_{\text{и.}} = 1,5 v_{\text{раб.}}$. Тогда число оборотов шпинделя станка (станка) при испытании шлифовального круга будет равно:

$$n_{\text{и.}} = \frac{1000 \, v_{\text{и.}}}{\pi D}. \quad (6.2)$$

6.4. Порядок проведения работы

6.4.1. Внимательно ознакомиться с методическим указанием к данной лабораторной работе.

6.4.2. Записать типоразмер и характеристики шлифовальных кругов предназначенных для испытаний, в таблицу 6.1.

6.4.3. По формулам 6.1 и 6.2 определить значения параметров испытаний.

6.4.4. В присутствии преподавателя установить испытуемый круг на стенд СИП-800К1. Закрывать дверцы камеры станка.

6.4.5. Провести испытание круга согласно вышеизложенной методики.

6.4.6. Результаты испытаний занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

№ п/п	Типо- размер круга	$v_{\text{раб.}}$, м/с	n , с ⁻¹	$v_{\text{и.}}$, м/с	$n_{\text{и.}}$, с ⁻¹	Резуль- таты ис- пытания

6.5. Содержание отчета

Отчет включает: название работы, цель работы, оборудование и инструменты, используемые при испытаниях, порядок расчета параметров испытаний шлифовальных кругов и таблицу испытаний.

6.6. Контрольные вопросы

6.6.1. Цель испытания кругов на механическую прочность?

6.6.2. Какой абразивный инструмент должен испытываться на безопасность работы?

6.6.3. Продолжительность испытаний на безопасность работы?

6.6.4. Как производят испытания кругов на шлифовальных станках перед запуском в работу?

6.6.5. Как осуществляется испытание шлифовальных кругов на специальном стенде?

6.6.6. Методика определения параметров испытаний?

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ГЛУБИННОЕ ШЛИФОВАНИЕ

7.1. Цель работы

7.1.1. Изучение процесса обработки материалов методом глубинного шлифования.

7.1.2. Ознакомление с конструкцией и устройством станка ЛШ 232

7.2. Оборудование и инструменты

7.2.1. Станок специальный плоскопрофильного глубинного шлифования модели ЛШ 232.

7.2.2. Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,1 ГОСТ 166-89.

7.3. Теоретическая часть

7.3.1. Общие сведения

Глубинное шлифование используется главным образом для профильного шлифования. При этом могут быть изготовлены детали сложной формы и высокой точности. В настоящее время глубинное шлифование наиболее распространено в авиационной и инструментальной промышленности. Движения при глубинном шлифовании такие же, как и при обычном шлифовании. Единственным отличием между этими двумя способами шлифования являются сочетания глубины резания и продольной подачи. Это небольшое отличие оказывает большое влияние на технологию обработки и на конструкцию шлифовальных станков.

Нельзя дать определения глубинному и маятниковому шлифованию, позволяющего четко отличить один процесс от другого. Однако можно

привести некоторые данные, различающие эти процессы. По сравнению с обычным многопроходным маятниковым шлифованием с глубиной резания $0,005 \div 0,050$ мм на ход стола и большой скоростью перемещения обрабатываемой детали $10 \div 40$ м/мин, глубинное шлифование позволяет за один проход снимать припуск до нескольких десятков миллиметров при скорости изделия $30 \div 300$ мм/мин.

При маятниковом шлифовании припуск снимается с детали в результате большого числа продольных ходов. Вертикальная подача сообщается на каждый продольный ход. При глубинном шлифовании припуск на обработку снимается за один ход.

Глубинное шлифование характеризуется протяженными зонами контакта шлифовального круга с изделием, что затрудняет попадание СОЖ в зону контакта. Поэтому, для лучшего подвода СОЖ в зону шлифования и размещения стружки между зернами шлифовальный круг должен быть *высокопористым*.

Получать высокопористое строение при производстве абразивного инструмента можно разными способами: химическим газообразованием, пенообразованием, выгорающими добавками, литьем и др. Например, при литье в абразивную массу вводят перекись водорода, при разложении которой на воду и кислород образуется суспензия с равномерно расположенными пузырьками.

Условное обозначение высокопористых кругов содержит дополнительные сведения о марке порообразователя, его фракции. Круг типа 1 с наружным диаметром 250 мм, высотой 25 мм, диаметром посадочного отверстия 76 мм из белого электрокорунда марки 24А, зернистостью $F90$, степенью твердости I , номером структуры 8 на керамической связке V , с рабочей скоростью 35 м/с, с порообразователем косточка фруктовая, зернистостью 40, 1-го класса неуравновешенности, класса точности А имеет следующую маркировку:

1 250x25x76 24A F90 I 8 V 35 м/с КФ40 I кл. А

Для увеличения возможностей глубинного шлифования применяют непрерывную правку круга во время шлифования.

Под непрерывной правкой понимается метод профилирования алмазным роликом шлифовальных кругов в процессе шлифования. При этом повышается скорость съема, размерная точность и точность формы обрабатываемой детали по сравнению с периодической правкой.

При глубинном шлифовании с периодической правкой круга воздействие абразивных зерен на обрабатываемую деталь быстро приобретает характер трения вместо резания вследствие затупления зерен, налипания обрабатываемого материала на их вершины и забивания пор круга стружкой. В результате возрастают силы шлифования, повышается температура резания, что является причиной образования прижогов и трещин на поверхности обрабатываемой детали. В связи с увеличением упругих деформаций, искажается форма поперечного сечения детали.

Непрерывная правка обеспечивает заострение или выкрашивание из связки затупившихся абразивных зерен, в результате чего режущая способность круга улучшается, и круг работает эффективно в течение всего цикла шлифования.

Станки с непрерывной правкой круга оснащаются устройством, подающим правящий инструмент (алмазный ролик) на шлифовальный круг. Алмазный ролик подается на шлифовальный круг с заданной скоростью. При этом шлифовальная бабка подается с такой же скоростью на обрабатываемую деталь. Это обеспечивает параллельность обработанной поверхности направлению движения стола станка.

При глубинном шлифовании с непрерывной правкой круга появляется возможность, по сравнению с глубинным шлифованием с прерывистой правкой, увеличить подачи в $5 \div 15$ раз.

Рекомендуемая подача ролика, как правило, не превышает $1\div 2$ мкм/об. круга.

7.3.2. Станок для глубинного шлифования ЛШ 232

При глубинном шлифовании сила резания увеличивается в $2\div 5$ раз по сравнению с маятниковым шлифованием, поэтому из-за низкой жесткости технологической системы резания обычные плоскошлифовальные станки не могут быть использованы при глубинном шлифовании.

Станок плоскопрофильного глубинного шлифования модели ЛШ 232 с прямоугольным столом предназначен для обработки профильных поверхностей различных деталей из труднообрабатываемых и твердых сплавов методом глубинного шлифования, а также для отработки технологических процессов обработки различных материалов методом глубинного шлифования с дальнейшей передачей их в основное производство.

Шлифуемые детали в зависимости от формы, размеров и материалов могут закрепляться на электромагнитной плите, в приспособлениях, либо непосредственно на рабочей поверхности стола.

Расположение основных узлов и органов управления станка приведено на рисунке 7.1. По направляющим станины 1 возвратно-поступательно перемещается стол 2. На лицевой части станины крепится поворотный пульт управления 3. К задней части станины крепится станина стойки 4, по направляющим которой перемещается стойка 5.

На стойке крепится механизм вертикальных подач 9, осуществляющий перемещение шлифовальной бабки вверх – вниз по направляющим качения.

На корпусе шлифовальной бабки 7 устанавливается механизм непрерывной правки шлифовального круга 8.

На столе станка устанавливается механизм непрерывной правки шлифовального круга от стола и ограждение стола 6.

От агрегата охлаждения 10 с помощью центробежного электронасоса по трубопроводу под давлением до 0,8 МПа к станку подается охлаждающая жидкость.

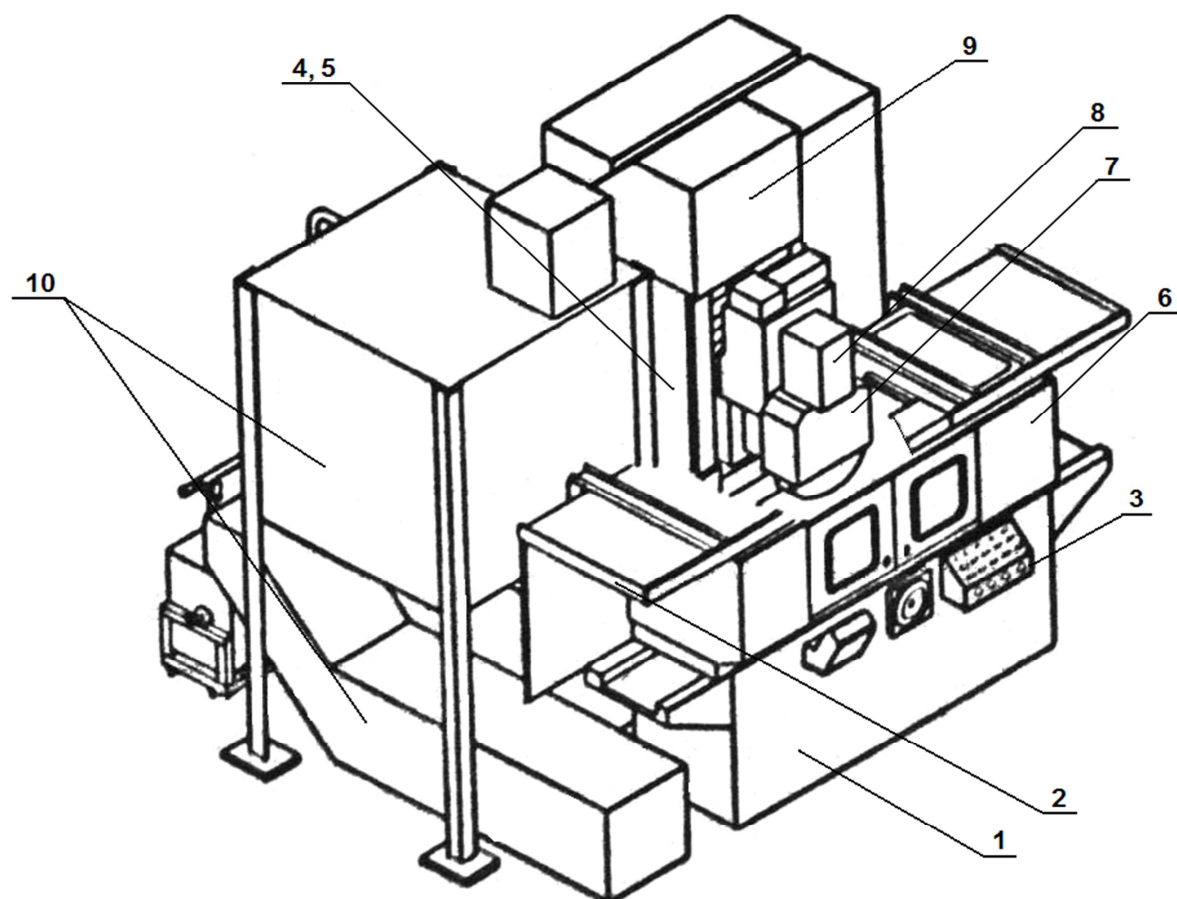


Рисунок 7.1. – Станок модели ЛШ 232

СОЖ из общего коллектора распределяется через разветвленные потоки, направленные в зону шлифования (со стороны обработанной и обрабатываемой поверхностей детали), на охлаждение алмазного ролика и гидроочистку шлифовального круга после правки. Для повышения эффективности процесса охлаждения СОЖ подается через щелевые клиновые сопла (насадки).

Станок комплектуется установкой смазки.

7.3.3. Указания по технике безопасности

При работе на станке необходимо строго соблюдать следующие требования:

1. Перед эксплуатацией шлифовальный круг должен быть проверен на механическую прочность на испытательном стенде.
2. Перед установкой на станок шлифовальный круг в сборе с планшайбой должен быть тщательно отбалансирован статически.
3. Запрещается работать на станке при открытой крышке кожуха шлифовального круга.
4. После установки детали и включения магнитной плиты необходимо проверить надежность закрепления детали.
5. Запрещается установка, снятие и измерение деталей над зеркалом стола или магнитной плитой при вращающемся круге.
6. Включать вводный выключатель можно только при закрытых дверцах ограждения стола.
7. Шлифование с окружной скоростью круга выше 35 м/с не допускается.

7.4. Порядок проведения работы

7.4.1. Внимательно ознакомиться с методическим указанием к данной лабораторной работе.

7.4.2. Определить размеры поверхности образца предназначенного для шлифования.

7.4.3. Записать режимы шлифования в таблицу 7.1.

7.4.4. Произвести обработку (режимы обработки задает преподаватель, работу на станке производит лаборант).

Таблица 7.1

№ п/п	v , м/с	v_s , м/мин	t , мм	$S_{пр}$, мкм/ импульс	W_m , мм ³ /(мин · мм)	W_a , мм ³ /(мин · мм)	K	t_o , мин

7.4.5. Определить основное время шлифования, мин:

$$t_o = \frac{L_o + \sqrt{t(D-t)}}{v_s}, \quad (7.1)$$

где L_o – длина обрабатываемой поверхности, мм;

t – глубина шлифования, мм;

D – наружный диаметр круга, мм;

v_s – скорость движения подачи, мм/мин.

7.4.6. Рассчитать объем снятого металла W_m , мм³ (из геометрии обрабатываемой поверхности) и объем изношенной части шлифовального круга W_a , мм³:

$$W_a = 6 \cdot 10^{-2} \pi D S_{пр} \cdot k B t_o, \quad (7.2)$$

где $S_{пр}$ – подача на правку, мкм/импульс;

k – количество импульсов правки в секунду, $k = 3$ импульса/с;

B – высота круга, мм.

7.4.7. Рассчитать коэффициент шлифования:

$$K = \frac{W_m}{W_a}. \quad (7.3)$$

7.4.8. Определить основное время шлифования из предположения, что припуск на обработку снимали методом маятникового шлифования (режимы и методику расчета взять из лабораторной работы № 5).

7.4.9. Используя рассчитанные данные K и t_o для глубинного и маятникового шлифования (для маятникового шлифования значение K взять из

результатов лабораторной работы № 5) сравнить данные способы обработки.

7.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, расчетные формулы, таблицу и выводы.

7.6. Контрольные вопросы

7.6.1. Что такое глубинное и маятниковое шлифование?

7.6.2. Каковы соотношения глубины шлифования и скорости стола при многопроходном маятниковом и глубинном шлифовании?

7.6.3. Что такое высокопористый абразивный инструмент?

7.6.4. Маркировка высокопористого круга?

7.6.5. Что понимают под непрерывной правкой? Её преимущества и рекомендуемые значения при глубинном шлифовании?

7.6.6. Назначение и устройство специального станка ЛШ 232?

7.6.7. Техника безопасности при работе на станке ЛШ 232?

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ШЕРОХОВАТОСТИ ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ШЛИФОВАНИЯ И ПОДАЧИ

8.1. Цель работы

8.1.1. Познакомиться с параметрами, характеризующими качество обработанной поверхности детали.

8.1.2. Познакомиться с методикой многофакторного эксперимента.

8.1.3. Установить функциональную зависимость шероховатости поверхности от глубины шлифования и подачи.

8.2. Оборудование и инструменты

8.2.1. Плоскошлифовальный станок модели 3711.

8.2.2. Профилограф-профилометр «СЕЙТРОНИК ПШ8-3 С.С.»

8.3. Теоретическая часть

8.3.1. Качество обработанной поверхности

Под качеством поверхности детали подразумевают состояние ее поверхностного слоя, полученного в результате воздействия на него одного или нескольких последовательно применяемых технологических методов.

Качество поверхности характеризуется шероховатостью, волнистостью и рядом физико-механических свойств поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины.

Базовая длина – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Шероховатость относится к микрогеометрии поверхности в отличие от волнистости поверхности и отклонений от формы. Последние виды неровностей, например, отклонение формы, относят к макрогеометрии, а волнистость поверхности занимает промежуточное положение между микро- и макрогеометрией. Макрогеометрические отклонения рассматриваются на больших участках реальной поверхности детали и характеризуют точность детали (конусообразность, овальность, вогнутость и др.) Микрогеометрия (шероховатость) оценивается на малых участках реальной поверхности с длиной стороны квадрата от 1 мм до 10 мкм.

Отклонения формы поверхностей условно различают в зависимости от отношения шага W к высоте неровностей профиля H .

При $W / H > 1000$ – макрогеометрические отклонения;

при $50 < W / H < 1000$ – волнистость поверхности;

при $W / H < 50$ – шероховатость поверхности.

Шероховатость поверхности определяют по её микропрофилю, который образуется в сечении этой поверхности плоскостью, перпендикулярной к номинальной поверхности (поверхность, заданная в технической документации без учета допускаемых отклонений). При этом профиль рассматривается на длине базовой линии, относительно которой определяются и оцениваются параметры шероховатости поверхности.

При определении шероховатости поверхности используют следующие основные параметры:

Ra – среднеарифметическое отклонение профиля;

Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам;

R_{max} – наибольшая высота профиля;

S_m – средний шаг неровностей;

S – средний шаг местных выступов профиля;

tp – относительная опорная длина профиля, где p – значение уровня сечения профиля.

Параметр Ra является предпочтительным и на чертежах деталей рекомендуется проставлять шероховатость именно средним арифметическим отклонением. Остальные параметры шероховатости связаны с параметром Ra определенными соотношениями (своими для каждого из методов шлифования).

При необходимости дополнительно к параметрам шероховатости поверхности устанавливаются требования к направлению неровностей поверхности (параллельное, перпендикулярное, перекрещивающееся, произвольное, кругообразное, радиальное и точечное), к способу или последовательности способов получения (обработки) поверхности.

Требования к шероховатости поверхности не включают требований к дефектам поверхности, поэтому при контроле шероховатости поверхности влияние дефектов поверхности должно быть исключено. При необходимости требования к дефектам поверхности устанавливают отдельно.

Существует тесная взаимосвязь эксплуатационных свойств деталей машин с геометрическими характеристиками поверхности. Требования к параметрам шероховатости устанавливают на основании их связи с эксплуатационными свойствами деталей машин и их соединений.

Шероховатость поверхности после механической обработки – это геометрический след режущего инструмента, искаженный в результате упруго-пластических деформаций и сопутствующей процессу резания вибрации технологической системы. Функциональные зависимости влияния параметров режима резания на параметры шероховатости значительно облегчат задачу технолога по выбору оптимальных режимов обработки.

Применение теории планирования эксперимента и опытных данных как основы для таких зависимостей является самым достоверным из способов их получения. Точность получаемых при этом данных, как и вид са-

мих математических моделей, зависят от количества произведенных опытов.

8.3.2. Планирование эксперимента

Под планированием эксперимента понимают процесс определения числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

В данной лабораторной работе необходимо, используя методику полного факторного эксперимента [15], получить математическую модель (в виде полинома первой степени) формирования шероховатости обработанной поверхности под действием параметров режима шлифования. Исследуемыми факторами являются глубина шлифования, t и продольная подача, s .

8.4. Порядок проведения работы

8.4.1. Изучить методические указания к лабораторной работе.

8.4.2. Установить требуемые глубину шлифования (подачу на двойной ход стола) и продольную подачу для первого опыта (таблица 8.1).

Таблица 8.1

Матрица полного факторного эксперимента типа 2^2

Номер опыта	t , мкм	S , м/мин	Средние значения			Дисперсии		
			Ra	Rz	R_{max}	Ra	Rz	R_{max}
1	20	12						
2	5	12						
3	20	6						
4	5	6						

8.4.3. Произвести шлифование образца (работу на станке производит лаборант). Обрабатываемый материал – сталь 45, абразивный инструмент – 1 250x20x76 24A F46 N 7 V 35 м/с А 1 кл.

8.4.4. Повторить п. 8.4.2 и 8.4.3 для остальных опытов. Каждый из опытов дублировать три раза.

8.4.5. Подготовить поверхности образцов, путем их размагничивания и обезжиривания.

8.4.6. Измерить шероховатость (Ra ; Rz ; R_{max}). Измерение производить в десяти местах, равномерно распределенных на поверхности, за результат опыта взять среднее арифметическое значение.

8.4.7. Средние значения и дисперсии результатов измерений (по трем опытам) занести в таблицу 8.1.

8.4.8. Используя методику полного факторного эксперимента [15] установить функциональную зависимость шероховатости от параметров режима резания

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2,$$

где y – исследуемый параметр (Ra ; Rz ; R_{max});

x_1 и x_2 – кодированные значения факторов (t и S) [15];

b_0 , b_1 , b_2 – коэффициенты полинома.

Для этого:

1. С помощью критерия Кохрена проверить гипотезу об однородности дисперсий соответствующих параметров шероховатости

$$G_p = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}. \quad (8.1)$$

Дисперсии однородны, если расчетное значение G_p -критерия не превышает табличного (таблица Б.1).

2. Если дисперсии s_j^2 опытов однородны, то дисперсию s_y^2 воспроизводимости эксперимента вычисляют по выражению:

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N s_j^2, \quad (8.2)$$

где N – число опытов (число строк матрицы планирования).

3. По результатам эксперимента вычисляют коэффициенты модели.

Свободный член b_0 определяют по формуле:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j, \quad (8.3)$$

где $\bar{y}_j$ – среднее значение исследуемого параметра (Ra ; Rz ; R_{max}) в j -том опыте.

Коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты, вычисляют по выражению:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{y}_j, \quad (8.4)$$

где i – номер фактора.

4. Вычислив коэффициенты модели, проверяют их значимость сравнением абсолютной величины коэффициента с доверительным интервалом.

Дисперсию $s^2\{b_i\}$ i -го коэффициента определяют по выражению:

$$s^2\{b_i\} = \frac{1}{nN} s_y^2, \quad (8.5)$$

где n – число параллельных опытов, $n = 3$.

Доверительный интервал:

$$\Delta b_i = \pm t_{\tau} \cdot s\{b_i\}, \quad (8.6)$$

где t_{τ} – табличное значение критерия (таблица Б.2) при принятом уровне значимости и числе степеней свободы f с которым определялась дисперсия s_y^2 , при равномерном дублировании опытов число степеней свободы находится по выражению $f = (n - 1)N$.

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Статистически незначимые коэффициенты могут быть исключены из уравнения.

8.4.9. Проверить гипотезу адекватности найденной модели.

Остаточная дисперсия, или дисперсия адекватности, характеризует рассеяние эмпирических значений y относительно расчетных $\hat{y}$, определенных по найденному уравнению регрессии. Дисперсию адекватности определяют по формуле:

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{n \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2}{f}, \quad (8.7)$$

где $f = N - m$,

m – количеством коэффициентов модели.

Проверку гипотезы адекватности найденной модели производят сравнением s_y^2 и $s_{\text{ад}}^2$ по F-критерию Фишера:

$$F_p = \frac{s_1^2}{s_2^2}, \quad (8.8)$$

где $s_1^2 > s_2^2$.

Если наблюдаемое значение F_p -критерия меньше табличного F_t (таблица Б.3) для соответствующих чисел степеней свободы и принятого уровня значимости, то дисперсии однородны.

8.4.10. Сделать вывод о характере и степени влияния глубины шлифования и подачи на шероховатость обработанной поверхности.

8.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, описание прибора, расчеты и рабочую таблицу 8.1, вывод.

8.6. Контрольные вопросы

8.6.1. Что такое шероховатость поверхности?

8.6.2. Что такое базовая длина?

8.6.3. Какие параметры шероховатости используют при определении шероховатости поверхности?

8.6.4. Направления неровностей поверхности?

8.6.5. Влияние параметров режима обработки на шероховатость обработанной поверхности?

8.6.6. Влияние свойств обрабатываемого материала на шероховатость обработанной поверхности?

8.6.7. Влияние свойств абразивного инструмента на шероховатость обработанной поверхности?

9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИСПЫТАНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ЭКСПРЕСС-УСТАНОВКЕ

9.1. Цель работы

9.1.1. Ознакомление студентов с устройством и методикой проведения испытаний смазочно-охлаждающих жидкостей на экспресс-установке.

9.1.2. Произвести экспериментальное исследование пробных СОЖ и сравнить их эксплуатационные свойства.

9.2. Оборудование и инструменты

9.2.1. Экспресс-установка.

9.2.2. Тензометрическая станция.

9.2.3. Потенциометр.

9.2.4. Микрометр типа МК с ценой деления 0,001 мм, ГОСТ 6507-90.

9.2.5. Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм, ГОСТ 577-68.

9.2.6. Профилограф-профилометр «СЕЙТРОНИК ПШ8-3 С.С.»

9.3. Теоретическая часть

9.3.1. Общие сведения

При шлифовании металлов в зоне резания возникает высокая температура, от воздействия которой увеличивается вероятность появления дефектов на обрабатываемой поверхности, таких как шлифовочный прижог (структурно измененный слой или участок на обработанной поверхности, являющийся следствием теплового действия шлифования) и трещины (де-

фект поверхности в виде сетки паутинообразных или отдельных произвольно направленных поверхностных разрывов, образовавшихся при шлифовании и абразивной зачистки металла, обладающего высокой твердостью, хрупкостью и малой теплопроводностью). В результате поверхностный слой металла теряет требуемые свойства.

Для уменьшения теплообразования и интенсификации отвода теплоты из зоны обработки в процессе шлифования используют *смазочно-охлаждающие жидкости* (СОЖ).

Действия СОЖ при резании:

1. Смазывающее действие позволяет снизить трение на контактных поверхностях и тем самым уменьшить изнашивание поверхностей режущих инструментов и значительно понизить температуры.

Смазочные пленки, образующиеся на поверхностях режущего инструмента, должны выдерживать большие нормальные нагрузки, прочно удерживаться, сохранять свои свойства при высоких температурах.

2. Охлаждающее действие СОЖ позволяет снизить температуру инструмента и детали и тем самым уменьшить изнашивание инструмента, повысить точность и качество изготовления детали.

3. Режущее и пластифицирующее действие СОЖ – способность жидкости облегчать пластическое деформирование обрабатываемого материала и разрыв связей в нем при внедрении инструмента. Эти свойства позволяют обрабатывать с высокой производительностью труднообрабатываемые материалы, приводят к повышению стойкости инструмента и облегчению процесса резания, уменьшению сопротивления сдвигу или пластической деформации, препятствуют налипанию обрабатываемого материала на инструмент.

В основе проявления пластифицирующего действия СОЖ лежат следующие механизмы:

а) расклинивающий механизм. Проникая в микротрещины, которые создаются в процессе пластического деформирования металла, жидкость создает расклинивающее давление в ней и образует пленки на стенках трещины, которые затрудняют ее сваривание;

б) внедренческий механизм. Внедрение отдельных атомов жидкости (азота, кислорода, водорода и др.) в кристаллическую решетку обрабатываемого металла приводит к упрочнению последнего и переходу его в хрупкое состояние, при этом уменьшаются предельная пластическая деформация перед разрушением и удельная работа резания;

в) механизм понижения свободной энергии. Поверхностно активная внешняя среда облегчает выход на поверхность дислокаций, движение которых и составляет сущность пластической деформации.

4. Моющее действие СОЖ состоит в обеспечении непрерывной эвакуации из зоны обработки отходов функционирования системы резания – продуктов износа инструмента, мелкой стружки, карбидов, выломанных из структуры обрабатываемого материала и др. При шлифовании моющее действие, кроме того, предотвращает засаливание шлифовального круга и очищает абразивные зерна и поры круга.

Моющее действие увеличивается с возрастанием скорости движения и температуры жидкости, при подаче струи под давлением.

5. Защитное действие СОЖ. Химически чистая обработанная поверхность быстро адсорбирует молекулы среды, вследствие чего может снижаться качество поверхности детали.

6. Смачивающее свойство СОЖ. Смачивание жидкостью поверхности детали и инструмента является необходимой предпосылкой для проявления всех действий СОЖ.

Правильно подобранные СОЖ повышают качество шлифуемой поверхности – снижают шероховатость обработанной поверхности, повышают точность обработки и предотвращают появление поверхностных де-

фектов. СОЖ для шлифования подразделяют на водные и масляные (минеральные, растительные и животные, синтетические). СОЖ выбирают в зависимости от материала детали, марки абразивного материала, зернистости и связки шлифовальных кругов.

Выбор способа, скорости и направления подачи СОЖ зависит от условий шлифования, т.е. от зоны контакта круга с деталью, давления, возникающего в процессе шлифования, требуемого воздействия жидкости на зону резания и требований к шероховатости обрабатываемых поверхностей деталей. Одним из наиболее распространенных методов СОЖ при шлифовании – это метод полива под небольшим давлением от 0,03 до 0,15 МПа.

9.3.2. Экспресс-установка

Лабораторные испытания СОЖ проводятся на специальной экспресс-установке, сконструированной на базе универсального-заточного станка модели 3А64Д.

Для оценки эксплуатационно-технологических свойств СОЖ при испытаниях в данной лабораторной работе используют следующие критерии:

1. Объемная наработка, W_m , за время опыта.

Образцы материалов для экспресс-испытаний СОЖ имеют размеры: $6 \times 6 \times 25$ мм, площадь контакта с кругом постоянная и равна 36 мм^2 , тогда:

$$W_m = 36 z, \quad (9.1)$$

где z – съём металла за время опыта, определяется индикатором с ценой деления 0,01 мм замером образца до и после проведения опыта.

Перед проведением опыта образцы обрабатываемого материала предварительно пришлифовываются к поверхности круга для образования контакта по всей поверхности образца.

2. Объем изношенной части шлифовального круга, W_a за время опыта.

При испытании СОЖ на экспресс-установке применяют шлифовальные круги типоразмеров $1\ 200 \times 12 \times 12$ и $1\ 150 \times 16 \times 32$.

$$W_a = \pi D T x, \quad (9.2)$$

где x – радиальный износ круга за время опыта, определяется индикатором с ценой деления 0,001 мм замером до и после проведения опыта.

3. Коэффициент шлифования кругов

$$K = \frac{W_m}{W_a}. \quad (9.3)$$

4. Максимальная нагрузка P_y , при которой обеспечивается бесприжоговое шлифование. Подбирается для каждой жидкости и материала при помощи сменных грузов.

5. Касательная составляющая силы шлифования P_z , которая замеряется при помощи тензометрической станции марки ТА–5 и самопишущего потенциометра ЭПП–09МЗ.

Перед испытанием каждого состава СОЖ камера и система подвода СОЖ тщательно промывается: от водорастворимых СОЖ – содовым раствором, от масляных – керосином.

Экспресс установка (рисунок 9.1) состоит из следующих основных частей: привод шлифовального круга 1, камера 2, устройство для нагружения образца 3, кулачковый механизм для поднятия круга 4, плунжерная пара 5. В камере 2 предусмотрены: съёмная крышка для смены шлифовального круга 7, сопло со штуцером 8 для подвода СОЖ, отверстие 9 для слива жидкости, приспособление 10 с микронным индикатором часового типа 11 для замера износа шлифовального круга.

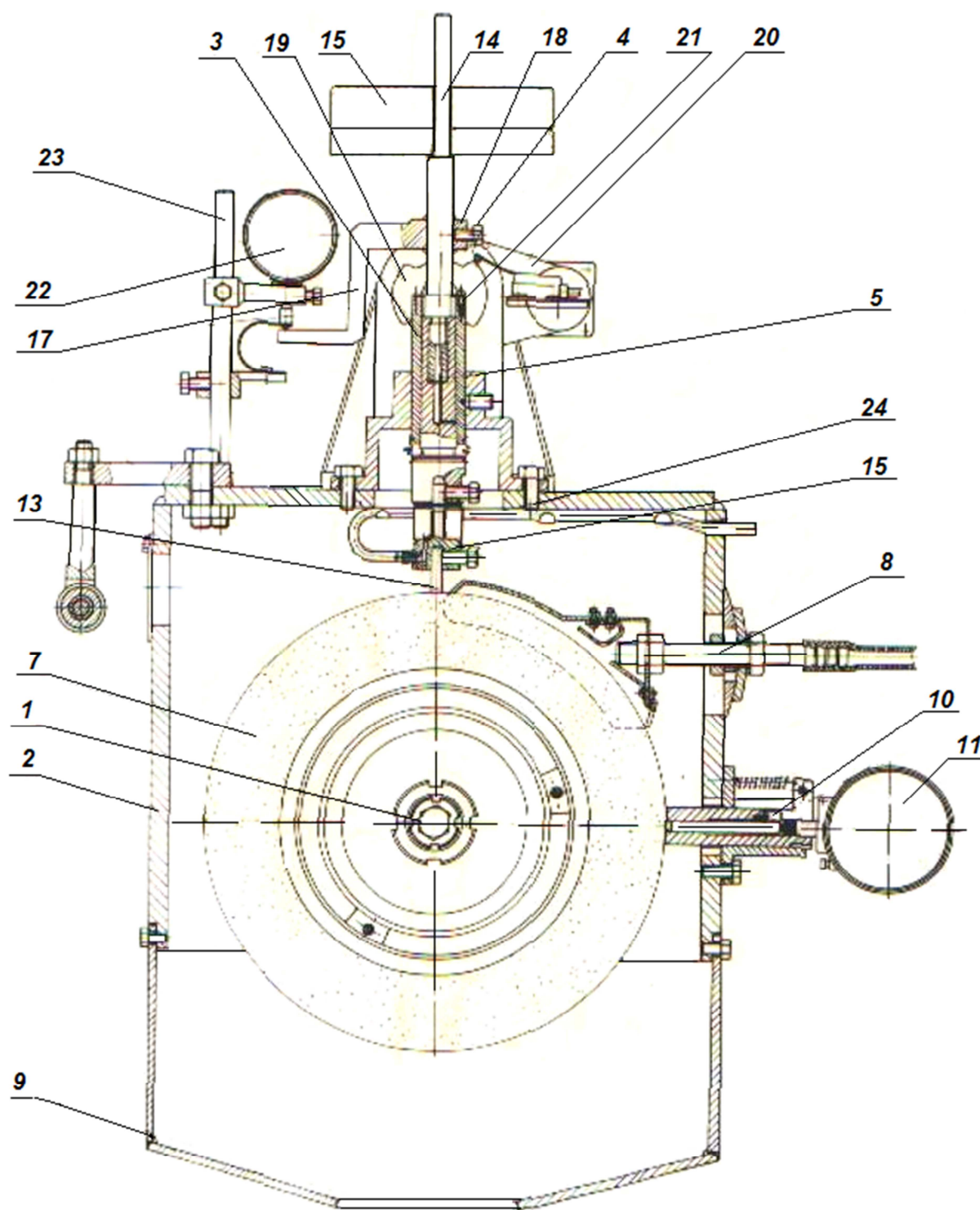


Рисунок 9.1. – Камера экспресс-установки

В экспресс-установке используется схема прерывистого шлифования путём периодического размыкания контакта шлифовального круга с об-

разцом. Устройство для нагружения образца выполнено в виде плунжерной пары со штоком 14, на котором помещаются сменные грузы 15.

На нижнем конце плунжера закреплен держатель 16 с образцом 13. На рычаге 17 штока 14 установлен ролик 18, опирающийся на кулачѐк 19 механизма 4. Вращение кулачка производится электродвигателем 20. На втулке плунжерной пары 5 закреплена направляющая шайба 21, которая предохраняет от осевого вращения плунжер и образец. Рычаг 17 служит одновременной базой для замера съёма металла индикатором 22, который закрепляется на стойке 23. Держатель 16 образца в средней части выполнен в виде плоской консольной балки, на которой наклеены тензометрические датчики 24, соединѐнные в электроизмерительный мост.

9.3.3. Работа экспресс-установки

При испытаниях под действием груза 15, массы штока с плунжером, держателя образца, ролика и вилки осуществляется прижим образца 13 к шлифовальному кругу 7. СОЖ подаѐтся через патрубок и сопло со штуцером 8 в зону шлифования. Кулачѐк 19, соприкасаясь с роликом 18 через рычаг 17 и шток 14, периодически поднимает плунжер с держателем образца 16 и самим образцом 13 и прерывает процесс шлифования. Продолжительность контакта образца со шлифовальным кругом и продолжительность паузы, следовательно, и тепловой режим шлифования, регулируются профилем кулачка и числом оборотов электродвигателя постоянного тока 20. Это позволяет шлифовать низкотеплопроводные сплавы, обеспечивая при этом незначительное накопление тепла в зоне контакта образца с кругом за весь период опыта, т.к. в период разрыва контакта обеспечивается необходимое остывание образца. В период очередного контакта образец опускается на поверхность шлифовального круга, обильно покрытую жидкостью.

Для определения эксплуатационных свойств СОЖ требуется один литр жидкости. Подача СОЖ в зону шлифования осуществляется методом полива из ёмкости, установленной на один метр выше выходного сопла.

9.3.4. Условия проведения лабораторных испытаний

3.4.1. Испытания СОЖ проводят на следующих режимах: скорость круга $v = 30$ м/с; образец нагружают гирями, путем постепенного прибавлением груза массой 1,0 кг (9,8 Н), до момента появления прижога. Продолжительность 1 опыта составляет 20 касаний или 60 с.

3.4.2. Правку круга производят алмазным карандашом. Режим правки круга: поперечная скорость стола $v_s = 0,05$ м/мин; подача шлифовального круга на врезание $t = 0,02$ мм/проход; количество проходов – 3; выхаживание – 1 проход.

3.4.5. Материал образца, шлифовальный круг и марки СОЖ для испытаний определяет преподаватель.

9.4. Порядок проведения работы

9.4.1. Установить образец в держатель экспресс-установки 16.

9.4.2. Включить экспресс-установку, потенциометр и тензометрическую станцию в сеть. Приборы должны быть прогреты в течение 15 минут.

9.4.3. Установить первый груз 15 на штوك 14.

9.4.4. Перед проведением опыта произвести пришлифовку образца к профилю круга. Для этого включить подачу СОЖ и мотор плунжера. Визуально зафиксировать 20 касаний образца с кругом. Выключить мотор плунжера и подачу СОЖ.

9.4.5. Включить подачу стола и произвести правку круга алмазным карандашом. Выключить установку.

9.4.6. Приведя в соприкосновение обрабатываемый образец и круг записать в таблицу 9.1 положение стрелки индикатора 23.

9.4.7. Произвести соприкосновение ножки индикатора 11 с рабочей поверхностью шлифовального круга в 8 местах равномерно расположенных по окружности (см. рисунок 5.2). Определить среднее значения положения стрелки.

Таблица 9.1

Результаты испытаний

№ п/п	$P_y, Н$	Положе- ние стрел- ки инди- катора 23, мкм		$W_m, мм^3$	Положение стрелки индикатора 11 в исследуемых точках, мкм																$W_a, мм^3$	K	$P_z, Н$	Наличие прижога
		до опы- та	по- сле		до опыта								после											
					1	2	3	4	5	6	7	8	ср	1	2	3	4	5	6	7				
СОЖ №1																								
1																								
2																								
...																								
Контрольные испытания СОЖ №1																								
1																								
2																								
3																								
СОЖ №2																								
1																								
2																								
...																								
Контрольные испытания СОЖ №2																								
1																								
2																								
3																								

9.4.8. Включить подачу СОЖ, диаграммную ленту и мотор плунжера. Визуально зафиксировать 20 касаний образца с кругом. Выключить установку.

9.4.9. Аналогично п. 9.4.6 и 9.4.7 определить новые положения стрелок индикаторов и записать их в таблицу 9.1.

9.4.10. По диаграмме определить максимальное значение составляющей силы шлифования P_z , коэффициент масштабирования взять у преподавателя. Данные занести в таблицу 9.1.

9.4.11. Рассчитать значения остальных (таблица 9.1) контролируемых параметров (W_m , W_a , K).

9.4.12. Визуальным осмотром определить отсутствие шлифовочных дефектов на обработанной поверхности образца. При его отсутствии увеличить массу груза на 1,0 кг и повторить п. 9.4.4 – 9.4.13.

9.4.13. При появлении прижога (цвета побежалости), массу снижают на 0,5 кг и проводят три контрольных опыта п. 9.4.4 – 9.4.13.

9.4.14. Не меняя условий эксперимента п. 9.4.2.8–9.4.2.10 произвести исследование каждого из составов СОЖ.

9.4.15. Построить графики зависимостей контролируемых параметров (W_m , W_a , K , P_z) от нагрузки (P_y) на образец. Сделать сравнительный анализ эксплуатационных параметров СОЖ.

9.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, оборудование и инструменты, назначение и описание экспресс-установки и таблицу результатов испытаний.

9.6. Контрольные вопросы

9.6.1. Для чего предназначена экспресс-установка?

9.6.2. Принцип работы экспресс установки?

9.6.3. Влияние СОЖ на процесс шлифования?

9.6.4. Виды СОЖ?

9.6.5. Устройство экспресс-установки?

9.6.6. Порядок работы на экспресс-установке?

9.6.7. Способы подачи СОЖ в зону резания?

10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРЕН ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ НА ОПТИЧЕСКОМ МИКРОСКОПЕ

10.1. Цель работы

10.1.1. Ознакомиться с методикой измерений зерен шлифовальных порошков на оптическом микроскопе.

10.1.2. Произвести экспериментальное исследование размеров и формы зерен шлифовальных порошков.

10.2. Оборудование, инструменты и программное обеспечение

10.2.1. Микроскоп оптический МБС-9

10.2.2. Персональный компьютер с программным обеспечением «Зерно НМ ВПИ».

10.2.3. Цифровая USB-камера с разрешением 5Мпикс.

10.2.4. Объект-микрометр с ценой деления 10 мкм, ГОСТ 7513-75.

10.2.5. Шлифовальный порошок.

10.3. Теоретическая часть

Шлифовальный порошок (шлифпорошок) – это абразивный материал с размерами зерен от 4750 до 45 мкм. Зерна шлифовальных порошков являются основным режущим элементом абразивного инструмента. Шлифпорошки получают путем сортировки и переработки абразивных материалов, включающей дробление, измельчение, классификацию и т.д.

По размеру зерен шлифовальные порошки классифицируют методом отсева на ситах. В этом случае распределение зерен по размерам, называ-

емое *зерновым составом*, выражается в долях от общей массы порошка, просеянного через сита. Зерновые составы классифицируются по *зернистости*, под которой понимают условную числовую характеристику зернового состава шлифовальных порошков. Зернистость входит в характеристику абразивных инструментов и является одним из обязательных элементов их выбора.

Каждая зернистость шлифовальных порошков характеризуется определенным набором *фракций*. Под фракцией понимается совокупность зерен, размеры которых находятся в установленном диапазоне. Диапазон размера зерен определяется по размеру ячеек двух смежных сит, через одно из которых зерна проходят, а на другом задерживаются. Фракция, массовая доля которой наибольшая, называется *основной*.

Классифицированные абразивные материалы должны укладываться в определенные диапазоны размеров, регламентированные стандартом. Даже после классификации шлифовальных порошков, их зерна имеют различные размеры и форму. Форма зерен не отражается в характеристике абразивного инструмента, поэтому ее необходимо рассматривать более детально.

Не имея данных о размерах и форме зерен, невозможно провести глубокое исследование процесса абразивной обработки. Геометрические параметры зерен шлифовальных порошков, наряду с физическими, химическими и механическими свойствами, влияют на качество обработанной поверхности, силу резания, температуру в зоне контакта. Знание геометрических размеров зерен необходимо технологу для управления технологическим процессом производства шлифовальных порошков.

Измерение длины и ширины зерен проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис.10.1).

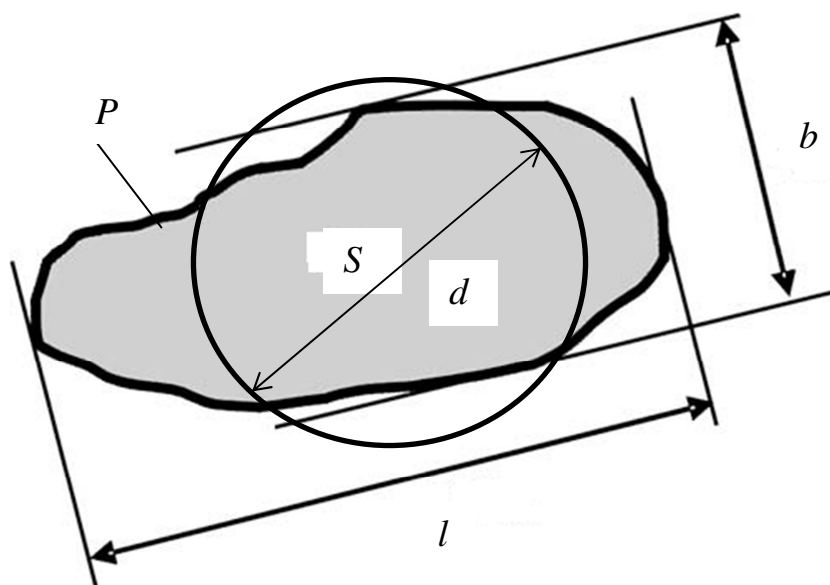


Рисунок 10.1 – Геометрические размеры зерен

Расстояние между двумя максимально удаленными точками контура проекции определяют как длину зерна l . Ширину зерна b находят как сумму величин двух перпендикуляров, построенных от вектора длины зерна к максимально удаленным точкам с каждой стороны профиля.

Периметр зерна P – сумма длин векторного контура, аппроксимирующего границу зерна. Площадь зерна S – сумма площадей пикселей, находящихся внутри соответствующего контура. Приведенный диаметр d – диаметр окружности, площадь которой равна S : $d = 2\sqrt{S/\pi}$.

Форму зерен оценивают коэффициентами формы, характеризующих степень приближения зерен к идеально округлой, изометричной и прямоугольной форме.

Коэффициент изометричности зерна k_1 определяют по формуле:

$$- \quad (10.1)$$

Значение коэффициента k_1 может изменяться от 0 до 1, где 1 – идеально изометричное зерно, у которого длина равна ширине, приближение к 0 соответствует неизометричному удлинённому зерну.

Коэффициент округлости зерна k_2 вычисляют по формуле:

$$k_2 = \frac{4\pi S}{P^2} \quad (10.2)$$

Значение k_2 может изменяться от 0 до 1, где приближение 1 соответствует идеальной окружности, приближение к нулю – удлинённому зерну с развитым контуром проекции.

Коэффициент прямоугольности зерна k_3 :

$$k_3 = \frac{S}{lb} \quad (10.3)$$

Значение k_3 также изменяется в диапазоне от 0 до 1, где приближение к нулю соответствует удлинённому зерну с развитым контуром проекции, приближение к 1 – идеальному прямоугольнику.

Исследование размеров и формы зерен проводят по фотографиям, полученным на оптическом микроскопе. Для обработки электронных фотографий и определения геометрических размеров зерен разработано специальное программное обеспечение «Зерно НМ ВПИ» [23]. Программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме по фотографиям профиля горизонтальной проекции абразивных зерен определять следующие размеры: длину l , ширину b , периметр P , площадь S , приведённый диаметр d , коэффициенты формы k_1 , k_2 , k_3 .

10.4. Порядок проведения работы

10.4.1. Получить у преподавателя абразивный материал определенной зернистости основной фракции. Согласно примеру записать в отчет: название абразивного материала, обозначение зернистости, размер фракции и зерновой состав порошка по ГОСТ Р 52381-2005 .

Пример записи данных об абразивном материале

Материал шлифовального порошка: карбид кремния черный.

Зернистость: F46.

Фракция: основная, размер ячейки верхнего сита 425 мкм, размер ячейки нижнего сита 355 мкм.

Таблица 10.1

Зерновой состав шлифовального порошка зернистости F46 по
ГОСТ Р 52381-2005

Контрольное сито	Размер стороны ячейки сита, мкм	Остаток шлифовального порошка на контрольном сите, %
1	600	—
2	425	не более 30
3	355	не менее 40
4	300	не менее 65 (на ситах 3+4)
5	250	не регламентируется
Остаток на поддоне		не более 3

10.4.2. Случайным образом отобрать из выданного преподавателем шлифовального порошка, упакованного в бумажный пакет, пробу зерен в количестве 10 штук.

10.4.3. Отобранные зёрна равномерно распределить по поверхности предметного стекла таким образом, чтобы они не соприкасались и не перекрывали друг друга.

10.4.4. Подготовить микроскоп (рис. 10.2) и программное обеспечение «Зерно НМ ВПИ» для измерения зерен. Для этого необходимо:

1. В один из окуляров микроскопа установить камеру и подсоединить ее к USB-порту ПК. Установить на столик микроскопа предметное стекло 16 с распределенными по нему абразивными зернами.

2. Запустить исполняемый файл программы «Зерно НМ» *grain.exe*. Для вывода изображения зерен на экран ввести команду (Файл-Захват), задать устройство (камеру). Установить угол наклона зеркала 10 рукояткой

15 так, чтобы наблюдаемое на экране изображение было максимально освещено.

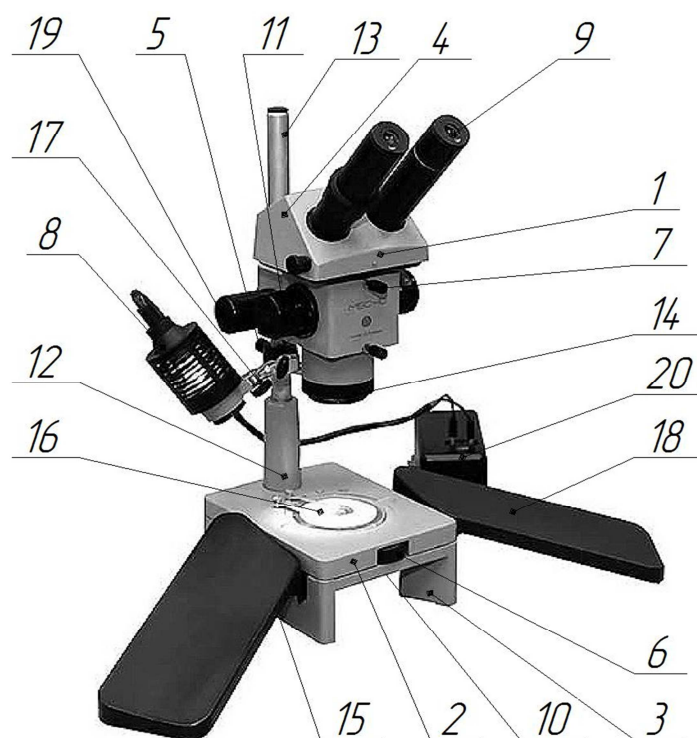


Рисунок 10.2 – Общий вид микроскопа МБС-9:

1 – оптическая головка; 2 – предметный столик; 3 – основание; 4 – призмы Шмидта для изменения межзрачкового расстояния прибора; 5 – винт для закрепления оптической головки на нужной высоте относительно стола; 6 – винт стола; 7 – винт; 8 – осветитель; 9 – окулярные трубки; 10 – зеркало поворотное; 11 – рукоятка установки увеличения (используемые увеличения – 7; 4; 2; 1; 0,6); 12 – направляющая; 13 – стержень; 14 – объектив; 15 – рукоятка вращения зеркала; 16 – предметное стекло; 17 – кронштейн шарнирный; 18 – подлокотники; 19 – рукоятки для подъема и опускания оптической головки (винт настройки резкости); 20 – блок питания осветителя.

3. Вращением винта резкости 19 сфокусировать изображение таким образом, чтобы контур зерен был максимально отчетливым и резким. Рукояткой 11 установить кратность увеличения микроскопа, при которой зерна четко видны на экране. Записать в отчет значение кратности увеличения. Нажать кнопку «Сохранить фото». Если на фотографию поместились не все 10 зерен, поворотом винта 6 сместить предметный столик микроскопа на ширину экрана и повторить фотографирование.

4. Зерна убрать с предметного столика в бумажный пакет и установить на предметное стекло эталон размера – объект-микрометр. Если изображение стало размытым, необходимо выполнить фокусировку вращением винта резкости 19. После этого сохранить полученное изображение эталона в подкаталог папки «Шкалы» с установленной программой.

5. В главном меню программы выбрать команду: «Настройки – Режимы – Новый режим». Нажать кнопку «Обзор», выбрать из папки сохраненное изображение эталона. Ввести параметры эталона: длина – 1, единицы измерения – мм. После этого на изображении эталона появляются две риски, которые необходимо установить, соответственно, на крайнее левое и правое деление эталона (показаны цифрами 1 и 2 на рис. 10.3).

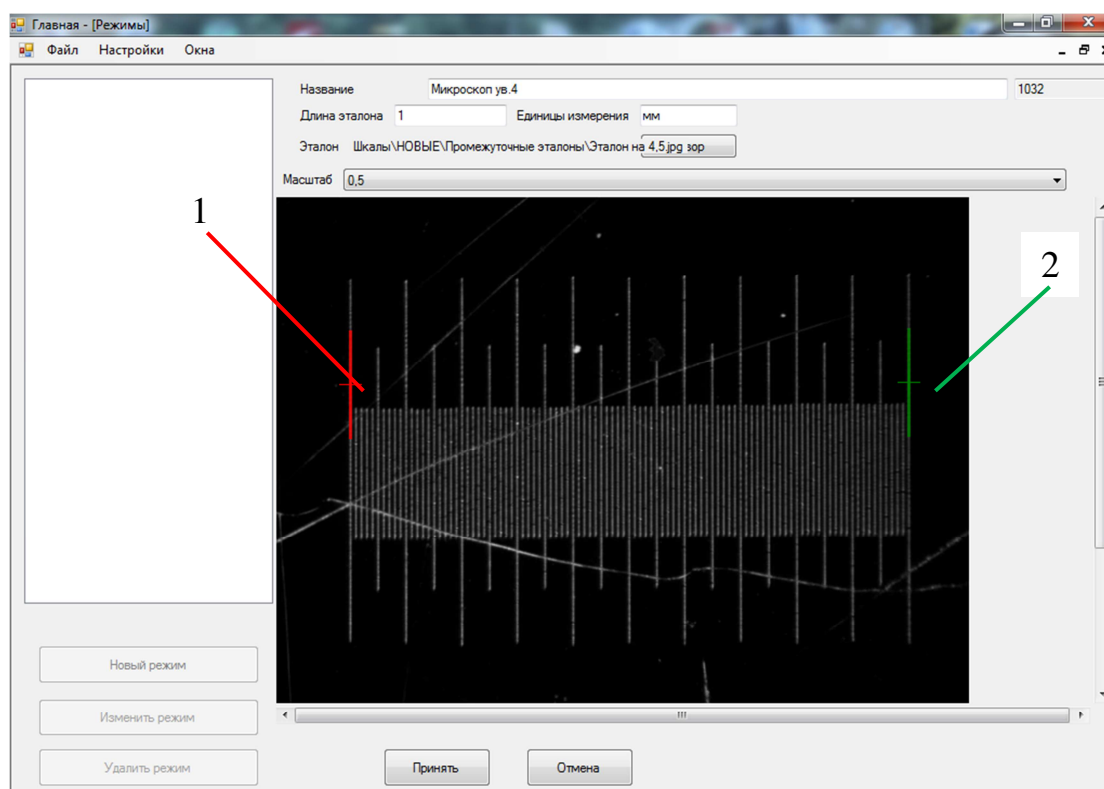


Рисунок 10.3 – Фото шкалы объекта-микрометра по ГОСТ 7513, служащего для программной обработки фотографий абразивных зерен

6. Указать в программе путь к сохраненным фотографиям зерен командой «Файл – Несколько фотографий – Фото из файла». Настроить па-

параметры разделения (зерен и окружающего их фона). Для этого выбрать любую из фотографий левой кнопкой мыши и вызвать команду «Параметры» (рис. 10.4).

7. С целью более точного визуального отделения контуров зерен от фона установить флажки «Разделение по уровню яркости», «Инвертировать». Установить значения регуляторов «Уровень отсечения» и «Минимальный размер объекта» таким образом, чтобы избавиться от шумов в изображении, сохранив при этом границы зёрен. В окне «Параметры» нажать ОК, после чего в главном окне – «Начать обработку».

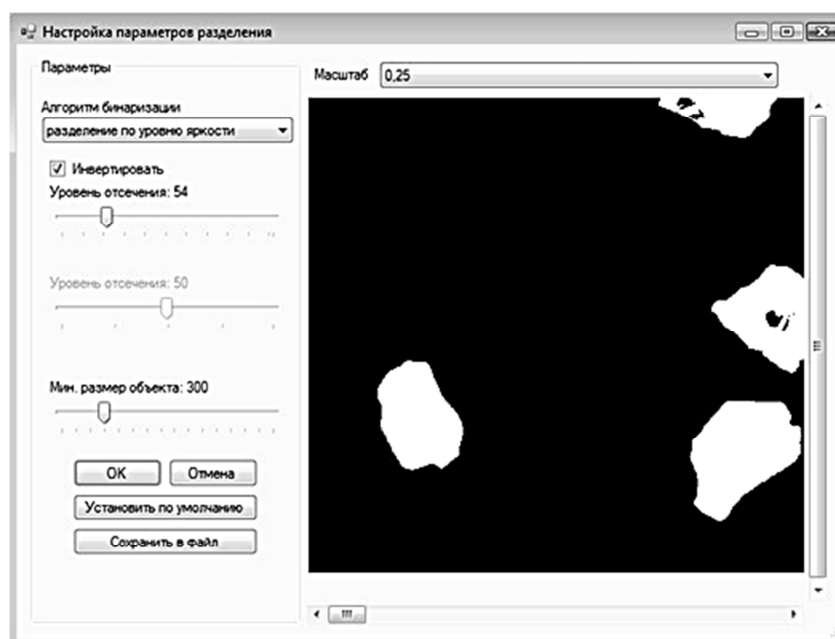


Рисунок 10.4 - Окно «Настройка параметров разделения»

10.4.5. По завершению обработки открыть вкладку «Зерно». Вычисленные в программе геометрические параметры шлифовальных зерен (рис. 10.5) сохранить для анализа в файл ПО Microsoft Excel нажатием кнопки «Сохранить результаты».

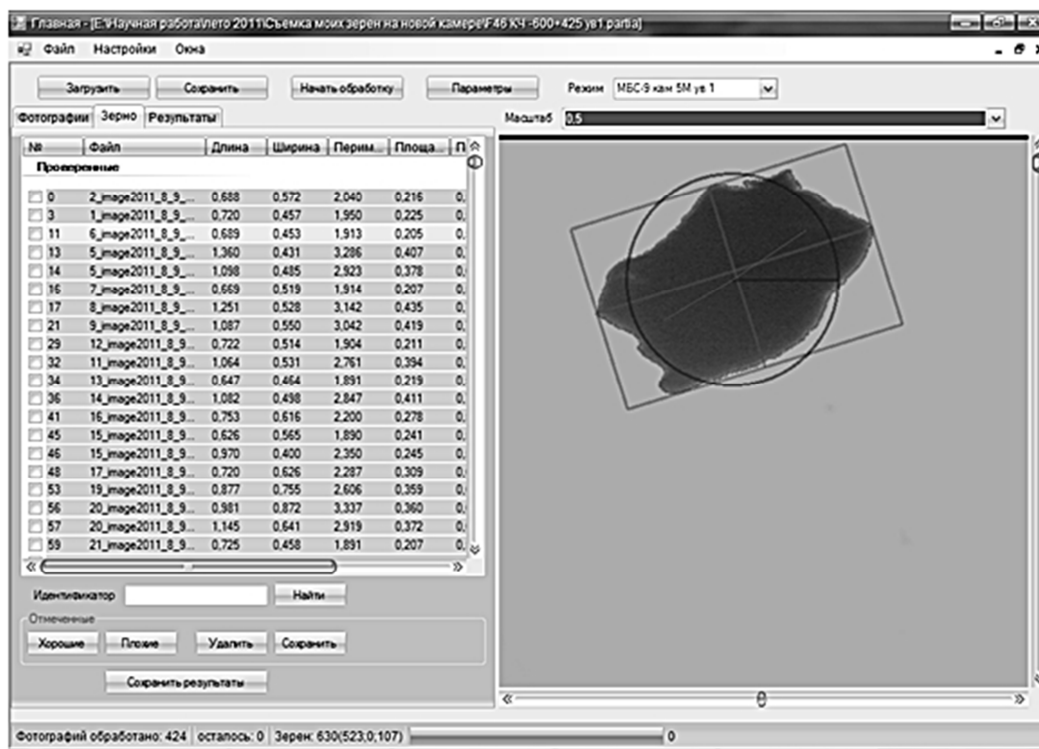


Рисунок 10.5 – Вкладка «Зерно» с результатами анализа геометрических параметров абразивных зерен.

10.4.6. В ПО Microsoft Excel вычислить значения коэффициентов изометричности, округлости и прямоугольности по формулам, приведенным в теоретической части работы. Оформить таблицу 10.2, в которую записать значения всех геометрических размеров для каждого из 10 зерен.

Таблица 10.2

Геометрические параметры зерен фракции шлифовального порошка

№ зерна	l , мкм	b , мкм	P , мкм	S , мкм ²	d , мкм	k_1	k_2	k_3

Примечание: Значения геометрических размеров l , b , P , S , d давать с точностью до целого, а коэффициентов формы k_1 , k_2 , k_3 – с точностью 3 знака после запятой.

10.4.7. Для каждого геометрического параметра X рассчитать средние значения с использованием функции СРЗНАЧ. Рассчитать стандарт-

ные отклонения геометрических параметров при помощи функции СТАНДОТКЛОН.

10.4.8. Вычислить доверительный интервал δ на средние геометрические параметры при уровне значимости 0,05 и количестве измерений $N=10$, используя функцию ДОВЕРИТ. Значения доверительного интервала должны иметь такое же количество знаков, как и соответствующие средние.

10.4.8. Записать результаты измерения средних геометрических параметров зерен в шлифовальном порошке данной фракции в виде $X \pm \delta$.

10.5. Содержание отчета

Отчет включает: название и цель работы, перечисление оборудования и название ПО, название абразивного материала и обозначение зернистости, краткое описание методики измерений, таблицу 10.2 с геометрическими размерами зерен и результатами вычислений, вывод.

10.6. Контрольные вопросы

10.6.1. Как шлифовальные порошки классифицируются по размерам зерен?

10.6.2 Что такое зернистость шлифовального порошка? Зерновой состав? Фракция?

10.6.3. В чем заключается влияние геометрии зерен шлифпорошков на процессы абразивной обработки?

10.6.4. Какими геометрическими размерами характеризуются зерна шлифовальных порошков?

10.6.5. Порядок работы на оптическом микроскопе?

10.6.6. Обработка фотографии зерен в программном обеспечении «Зерно-НМ»?

10.6.7. Определение геометрических размеров зерен – длина, ширина, периметр и площадь горизонтальной проекции?

10.6.8. Как определяются коэффициенты формы зерен – изометричность, округлость, прямоугольность?

Библиографический список

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для прикладного бакалавриата / В. Е. Гмурман. – 12-е изд. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 479 с.
2. ГОСТ Р 52588-2011 Инструмент абразивный. Требования безопасности (с Поправками) – Введ. 2013-01-01. – Взамен 52588-2006 – М.: Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2011 г. N 520-ст, 2013 – 5 с.
3. ГОСТ 21445-84. Материалы и инструменты абразивные. Термины и определения. – Введ. 1985-01-07. – Взамен 21445-75 – М.: Госком СССР по стандартам, 1993 – 25 с.
4. ГОСТ 23505-79. Обработка абразивная. Термины и определения. – Введ. 1980-01-01. – Введен впервые – М.: Госком СССР по стандартам, 1986 – 13 с.
5. ГОСТ 32406-2013 Инструмент алмазный и из кубического нитрида бора. Требования безопасности (с Поправкой). – Введ. 2015-01-01. – Введен впервые – Федеральным государственным унитарным предприятием "Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении" (ВНИИНМАШ), 2015 – 13 с.
6. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. – Введ. 1984-01-07. – Введен впервые – М.: Госком СССР по стандартам, 1985 – 23 с.
7. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры характеристика и обозначение. – Введ. 1975-01-01. – Взамен 2789-59 – М.: Госком СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1987 – 10 с.
8. ГОСТ 3060-86. Круги шлифовальные. Допустимые неуровненные массы и метод их измерения. – Введ. 1988-01-01. – Взамен ГОСТ 3090-75 – М.: Госком СССР по стандартам, 1986 – 15 с.

9. Зубарев Ю. М., Титов В. Б., Ревин Н. Н. Основы повышения эффективности шлифования сверхтвердых материалов. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – 170 с.

10. Инструменты из сверхтвердых материалов. / Под общ. ред. Н.В. Новикова – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.

11. Зубарев, Ю.М. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.М. Зубарев, А.В. Приемышев. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 304 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/153>.

12. Носенко В. А. Шлифование адгезионно-активных металлов. – М.: Машиностроение, 2000. – 262 с.

13. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в машиностроении: Учебное пособие для вузов. / Еремин В.Г., Сафронов В.В., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А. – М.: Машиностроение, 2002. – 400 с.

14. Резание материалов: Учебник для студентов высших учебных заведений. / Кожевников Д.В., Кирсанов С.В., Под ред. С.В. Кирсанова – М.: Машиностроение, 2007. – 304 с.

15. Рогов В. А. Методика и практика технических экспериментов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 288 с.

16. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник. / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев, Под общ. ред. Л.В. Худобина – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.

17. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.

18. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов.– М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.

19. Худобин Д. В., Веткасов Н. И. Шлифование композиционными кругами. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 256 с.

20. ГОСТ Р 52781-2007 Круги шлифовальные и заточные. Технические условия. – Введ. 2009-01-01. – Введен впервые – Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2007 г. N 339-ст, 2009 – 30 с.

21. ГОСТ Р 52587-2006 Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости. – Введ. 2008-01-01. – Введен впервые – Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 ноября 2006 г. N 255-ст, 2008 – 10 с.

22. ГОСТ Р 52381–2005 Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернистого состава. – Введ. 2006-07-01. – Введен впервые – Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2005 г. N 267-ст, 2006 – 11.

23. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011610144, 11.01.11. Программа для автоматизированного определения геометрических параметров шлифовального зерна по фотографиям «Зерно НМ ВПИ» / В.А. Носенко, А.А. Рыбанов, И.А. Макушкин, А.А. Шегай, К.А. Букштанович. ВолгГТУ, 2011.

Приложение А
(справочное)

Таблица А.1

Предельные отклонения наружного диаметра ΔD

В миллиметрах

D	Предельные отклонения точности для классов точности	
	АА	А, Б
до 6	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
6 ÷ 30	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$
30 ÷ 50	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$
50 ÷ 80	$\pm 1,0$	$\pm 1,6$
80 ÷ 180	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$
180 ÷ 260	$\pm 1,5$	$\pm 2,7$
260 ÷ 500	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$
500 ÷ 800	$\pm 2,5$	$\pm 5,0$
от 800	$\pm 3,0$	$\pm 6,0$

Таблица А.2

Предельные отклонения внутреннего диаметра Δd

В миллиметрах

d	Предельные отклонения точности для классов точности		
	АА	А	Б
до 10	+0,1	+0,2	+0,2
10 ÷ 18			+0,3
18 ÷ 50			
50 ÷ 80	+0,4		
80 ÷ 120	+0,2	+0,3	+0,5
120 ÷ 180			
180 ÷ 260			+0,6
от 260	+3,0	+0,4	

Таблица А.3

Предельные отклонения высоты ΔH

В миллиметрах

H	Предельные отклонения точности для классов точности	
	АА	А, Б
до 3	$\pm 0,10$	$\pm 0,3$
3 ÷ 6	$\pm 0,15$	$\pm 0,5$
6 ÷ 10	$\pm 0,2$	$\pm 0,6$
10 ÷ 16		$\pm 0,9$
16 ÷ 40		$\pm 1,2$
40 ÷ 100	$\pm 0,25$	$\pm 1,4$
от 100	$\pm 0,3$	$\pm 2,0$

Приложение Б
(справочное)

Таблица Б.1

Значения G-критерия при 5 %-ном уровне значимости

l	k								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365	0,5175	0,5017
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3980	0,3817	0,3682
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666	0,2541	0,2439
12	0,5410	0,3924	0,3624	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911	0,1815	0,1736
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1501	0,1422	0,1357
Примечание – k – число степеней свободы, l – количество выборок									

Таблица Б.2

Значения t при 5 %-ном уровне значимости

Число степеней свободы	1	2	3	4	5	6	7	8
Значения t	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,30
Число степеней свободы	9	10	11	12	13	14	15	16
Значения t	2,26	2,23	2,20	2,18	2,16	2,14	2,13	2,12
Число степеней свободы	17	18	19	20	21	22	23	24
Значения t	2,11	2,10	2,09	2,09	2,08	2,07	2,07	2,06
Число степеней свободы	25	26	27	28	29	30	40	60
Значения t	2,06	2,06	2,05	2,05	2,05	2,04	2,02	2,00

Таблица Б.3

Значения F-критерия Фишера при 5 %-ном уровне значимости

Число степеней свободы для меньшей дисперсии	Число степеней свободы для большей дисперсии								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,5	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,2	2,0	1,8
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
26	4,2	3,4	3,0	2,7	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
28	4,2	3,3	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
40	4,1	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
∞	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

Учебное издание

Владимир Андреевич **Носенко**

Роман Анатольевич **Белухин**

Анастасия Алексеевна **Крутикова**

Алексей Александрович **Александров**

Александр Васильевич **Саразов**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВАНИЯ»

Учебно-методическое пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2018 г. Поз. № 9В.

Подписано к использованию 01.10.2018. Формат 60х84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 6,63.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.