

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ТЕХНОЛОГИЯ АБРАЗИВНО-АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

Методические указания
к выполнению курсового проекта по дисциплине
для студентов направления
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
всех форм обучения

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 621.921.34:001.891-057.875(076)

ББК 34.59р30я73

Т38

Р е ц е н з е н т:

Н.И. Покинтелица – д-р техн. наук, профессор кафедры
«Пищевые технологии и оборудование»

Составители: С.М. Братан, А.О. Харченко,
А.С. Часовитина, И.В. Тищенко

Т38 Технология абразивно-алмазной обработки: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения / Севастопольский государственный университет, Политехнический институт ; сост.: С. М. Братан, А. О. Харченко, А. С. Часовитина, И. В. Тищенко. – Севастополь : СевГУ, 2024. – 39 с. – Текст : электронный.

Предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Технология абразивно-алмазной обработки» студентов направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении курсового проекта. Материал изложен в форме, удобной для практического использования, со ссылками на нормативные документы и методические указания по дисциплине.

УДК 621.921.34:001.891-057.875(076)
ББК 34.59р30я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию кафедрой «Технология машиностроения», протокол № 11 от 5 марта 2024 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1.1. Цель курсового проекта	4
1.2. Задание на курсовой проект	4
1.3. Объем и содержание курсового проекта	5
1.4. Содержание расчетно-пояснительной записки	5
1.5. Содержание графической части	6
2 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
2.1 Введение	7
2.2 Выбор оборудования	7
2.3 Выбор характеристик шлифовального круга.....	7
2.4 Расчёт режимов резания.....	8
2.4.1 Схема обработки.....	8
2.4.2 Вывод уравнения баланса.....	8
2.4.3 Порядок расчёта	9
2.4.4 Расчёт математического ожидания высоты неровностей	19
2.5 Расчёт вероятностей удаления и неудаления материала.....	19
2.6 Расчёт основного времени	23
4 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	25
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А	27
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	34
ПРИЛОЖЕНИЕ В	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	38

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель курсового проекта

Цель проекта: систематизация и закрепление теоретических знаний по дисциплине «Технология абразивно-алмазной обработки».

Задачи проекта:

- осуществление выбора оборудования для заданной операции шлифования;
- выбор характеристики абразивного инструмента;
- расчёт режимов резания;
- расчёт вероятностей удаления и неудаления материала;
- расчёт основного времени операции.

В процессе выполнения студент закрепляет, расширяет и обобщает знания, полученные в процессе обучения по общеинженерным и специальным дисциплинам, и приобретает практические навыки решения технологических задач, пользования технической и справочной литературой, стандартами.

При выполнении курсового проекта особое внимание уделяется самостоятельности работы студента и обоснованности принимаемых им решений.

1.2. Задание на курсовой проект

Исходные данные для расчёта по вариантам приведены в Приложении А. Номер варианта назначается преподавателем.

Исходными данными для расчёта являются вид обработки, размеры детали, шероховатость поверхности, материал и твёрдость заготовки.

1.3. Объем и содержание курсового проекта

В курсовой проект входят расчетно-пояснительная записка и графическая часть.

Расчетно-пояснительная записка для курсового проекта содержит 30...50 сшитых страниц машинописного текста на листах формата А4.

Все сведения, заимствованные из литературы (типовые решения, расчетные формулы и т.д.), должны иметь ссылки на источники.

Содержание расчетно-пояснительной записки приведено в п. 1.4 настоящих указаний, а содержание графической части курсового проекта – в п. 1.5.

1.4. Содержание расчетно-пояснительной записки

Текстовая часть проекта оформляется в виде расчетно-пояснительной записки, выполняемой на одной стороне листа формата А4 машинописным текстом в текстовом редакторе MS WORD в среде Windows шрифтом Times New Roman с размером 14 пт, с полями: слева – 30 мм; сверху и снизу – 20 мм; справа – 15 мм. Интервал между строчками – полуторный. Нумерация страниц по центру внизу. Все основные разделы записки следует набирать с нового листа. Заголовки и подзаголовки в записке отделяются от основного текста сверху и снизу одним интервалом. Абзацы начинаются отступом, равным 12,5 мм. Расчетно-пояснительная записка выполняется по ГОСТ 2.102-68, ГОСТ Р 2.105-2019, ГОСТ 2.106-96. Формулы должны быть напечатаны в редакторе формул. Расчеты, помещаемые в тексте, должны быть выполнены в системе единиц СИ.

Содержание расчетно-пояснительной записки должно быть выполнено в следующей последовательности:

1. Титульный лист
2. Бланк задания на курсовой проект
3. Содержание
4. Введение
5. Выбор оборудования для операции шлифования
6. Выбор характеристик шлифовального круга
7. Расчёт режимов резания
8. Расчёт вероятностей удаления и неудаления материала
9. Расчёт основного времени
10. Заключение
11. Список литературы
12. Приложения

1.5. Содержание графической части

Графическая часть проекта выполняется с использованием доступных систем компьютерной алгебры и САПР. Форматы, масштабы изображений и общие требования к графической части должны соответствовать стандартам ЕСКД.

2 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1 Введение

Во введении к курсовому проекту обосновывается актуальность разрабатываемой темы с учетом основных тенденций научно-технического прогресса. Формируются основные задачи, решаемые в курсовом проекте.

2.2 Выбор оборудования

При выборе типа и модели станка необходимо учитывать вид шлифования, габаритные размеры детали ($D \times L$), точность размеров после обработки и шероховатость обработанной поверхности.

В пояснительной записке необходимо представить изображение и паспортные данные выбранной модели станка

2.3 Выбор характеристик шлифовального круга

Выбор характеристик шлифовального круга выполняется в следующей последовательности:

- абразивный материал [1];
- зернистость [2, 3];
- твёрдость [4];
- тип связки;
- номер структуры;

- тип круга;
- предельная рабочая скорость;
- класс неуравновешенности;

Далее необходимо привести полную маркировку выбранного шлифовального круга по ГОСТ Р 52781 – 2007 и эскиз абразивного инструмента.

2.4 Расчёт режимов резания

2.4.1 Схема обработки

В данном подразделе требуется привести схему заданного типа шлифования и выполнить её описание.

Схема должна включать следующие элементы: заготовка; упрощённое изображение инструмента и приспособления; указание направлений подач и скоростей.

Описание схемы включает способ закрепления заготовки, движения, сообщаемые подсистемам станка (инструмент, заготовка).

На основе схемы обработки выполняется размерный анализ зоны контакта заготовки с кругом [6].

2.4.2 Вывод уравнения баланса

В данном подразделе требуется составить уравнение баланса для размерной цепи, полученной в результате размерного анализа. Пример

вывода уравнения баланса для круглого наружного шлифования приведён в работе [6].

2.4.3 Порядок расчёта

Изменение глубины микрорезания при i -м контакте рассчитывается по формуле (1)

$$\Delta t_{fi} = \Delta A_{si} - \Delta A_{yi} - \Delta R_i - \Delta r_{i-1}, \quad (1)$$

где ΔA_{sj} – изменение межцентрового расстояния из-за наличия подачи, m ;

ΔA_{yj} – изменение межцентрового расстояния из-за упругих деформаций, m ;

ΔR_i – изменение радиуса круга вследствие износа и деформаций, m ;

Δr_{i-1} – радиальный съём при $i-1$ -ом контакте, m ;

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия подачи определяется по формуле (2):

$$\Delta A_{si} = S + N, \quad (2)$$

где S – подача, m ;

N – предварительный натяг системы, m .

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия упругих деформаций определяется по формуле (3):

$$\Delta A_{yi} = \omega_{TS}(P_{yi} - P_{yi-1}), \quad (3)$$

где ω_{TS} – податливость технологической системы, m/H ;

P_{yi} – величина силы резания на i -м этапе, H ;

P_{yi-l} – величина силы резания на i -1-ом этапе, H .

Для расчёта изменения радиуса круга используется грубая зависимость (4):

$$\Delta R_i = 0,1 t_{fi-1}, \quad (4)$$

где t_{fi-1} – глубина микрорезания при i -1-ом контакте, m .

Величина радиального съёма материала определяется по формуле (5):

$$\Delta r_i = \frac{t_{fi}^2}{1,478 \cdot t_{fi} + \frac{13,66 \cdot V_u}{K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_3 \rho_3}}}, \quad (5)$$

где K_c – коэффициент стружкообразования, $K_c = 0,9$;

V_u – скорость вращения заготовки, m/c ;

V_k – скорость вращения круга, m/c ;

n_3 – количество зёрен в единице площади, $шт/m^2$;

ρ_3 – радиусы закруглений вершин зёрен, m ;

D_3 – эквивалентный диаметр, m [6 с. 114, 145].

Величина слоя, в котором распределена шероховатость, рассчитывается по формуле (6):

$$H_i = t_{fi} - \Delta r_i. \quad (6)$$

Сила резания рассчитывается по формуле (7):

$$\begin{aligned} P_{yi} = & 3\sqrt{2} \cdot L_k \cdot n_3 \\ & \cdot \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max} \cdot H_i \cdot D_3} \times \\ & \times \left[0,055 \cdot H_i \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} + 0,061 \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max}} \right] \cdot \tau_s, \end{aligned} \quad (7)$$

где L_k – высота шлифовального круга, м;

$h_{зmax}$ – износ зерна, $h_{зmax} = 10 \cdot 10^{-6}$ м;

V_k – скорость вращения круга, м/с;

β и β_1 – углы резания абразивного материала, $\beta = 22^\circ$, $\beta_1 = 34^\circ$;

τ – напряжение сдвига, Па.

Напряжение сдвига определяется по формуле (8):

$$\tau = \frac{\sigma}{1,5}, \quad (8)$$

где σ – предел прочности материала заготовки, Па.

Расстояние от наиболее глубокой впадины до средней линии профиля определяется по формуле (9):

$$W_{mi} = \frac{t_{fi} - \Delta r_i}{2}. \quad (9)$$

Если выполняется условие (10)

$$W_{mi} < \Delta r_i, \quad (10)$$

то средняя арифметическая высота профиля определяется по формуле (11):

$$Ra_i = \frac{0,25 \cdot V_u^{0,4} \cdot t_{fi}^{0,6}}{K_c^{0,4} \cdot (V_u + V_k)^{0,4} \cdot n_3^{0,4} \cdot D_3^{0,2} \cdot \rho_3^{0,2}}. \quad (11)$$

Уточняющий расчёт

Уточняющий расчёт выполняется в следующем порядке. Для этого используется значение силы резания P_y , полученное на текущем проходе. Данное значение необходимо подставить в формулу (3) и пересчитать

значения параметров по формулам (1), (5) – (7). После на основании уточнённых значений Δr_i , t_{fi} вычисляются значения W_{mi} (формула (9)), проверяется выполнение условия (10) и вычисляется средняя арифметическая высота профиля по формуле (11).

Пример расчёта для первых двух проходов. Расчёт приведён в символьном виде для первых двух проходов круглого наружного шлифования. Последующие проходы рассчитываются по аналогии на основании данных с предыдущих проходов.

Исходные данные для расчёта

Подача $S = 15 \cdot 10^{-6}$ м;

Предварительный натяг $N = 15 \cdot 10^{-6}$ м;

Податливость технологической системы $\omega_{TS} = 30 \cdot 10^{-9}$ м/Н;

Коэффициент стружкообразования $K_c = 0,9$;

Скорость вращения заготовки V_u , м/с;

Скорость вращения круга V_k , м/с;

Количество зёрен в единице площади n_z , шт/м²;

Радиусы закруглений вершин зёрен ρ_z м;

Диаметр круга D , м;

Диаметр заготовки d , м;

Высота шлифовального круга L_k , м;

Износ зерна $h_{zmax} = 10 \cdot 10^{-6}$ м;

Углы резания абразивного материала $\beta = 22^\circ$, $\beta_l = 34^\circ$.

Предел прочности обрабатываемого материала σ , Па.

Первый проход

Для первого прохода этапа врезания: $P_0 = 0$ Н; $\Delta P = 0$ Н; $\Delta R_1 = 0$ м;
 $\Delta r_0 = 0$ м; $t_{f0} = 0$ м.

Эквивалентный диаметр круга

$$D_{\text{э}} = \frac{D \cdot d}{(D + d)} .$$

Напряжение сдвига

$$\tau = \frac{\sigma}{1,5} .$$

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия подачи по формуле (2):

$$\Delta A_{s1} = S + N .$$

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия упругих деформаций по формуле (3):

$$\Delta A_{y1} = \omega_{TS}(\Delta P).$$

Изменение глубины микрорезания по формуле (1):

$$\Delta t_{f1} = \Delta A_{s1} - \Delta A_{y1} - \Delta R_1 - \Delta r_0.$$

Из уравнения баланса глубина микрорезания:

$$t_{f1} = t_{f0} + \Delta t_{f1} .$$

Величина радиального съёма материала по формуле (5):

$$\Delta r_1 = \frac{t_{f1}^2}{1,478 \cdot t_{f1} + \frac{13,66 \cdot V_u}{K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_3 \rho_3}}} .$$

Величина слоя, в котором распределена шероховатость по формуле (6):

$$H_1 = t_{f1} - \Delta r_1 .$$

Сила резания по формуле (7):

$$P_{y1} = 3\sqrt{2} \cdot L_k \cdot n_3 \cdot \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max} \cdot H_1 \cdot D_3} \times \\ \times \left[0,055 \cdot H_1 \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} + 0,061 \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max}} \right] \cdot \tau_s .$$

Уточняющий расчёт

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия упругих деформаций по формуле (3):

$$\Delta A_{y11} = \omega_{TS} (P_{y1} - P_{y0}) .$$

Изменение глубины микрорезания по формуле (1):

$$\Delta t_{f11} = \Delta A_{s1} - \Delta A_{y11} - \Delta R_1 - \Delta r_0 .$$

Из уравнения баланса глубина микрорезания:

$$t_{f11} = t_{f0} + \Delta t_{f11} .$$

Величина радиального съёма материала по формуле (5):

$$\Delta r_{11} = \frac{t_{f11}^2}{1,478 \cdot t_{f11} + \frac{13,66 \cdot V_u}{K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_3 \rho_3}}} .$$

Величина слоя, в котором распределена шероховатость по формуле (6):

$$H_{11} = t_{f11} - \Delta r_{11} .$$

Сила резания по формуле (7):

$$P_{y11} = 3\sqrt{2} \cdot L_k \cdot n_3 \cdot \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max} \cdot H_{11} \cdot D_3} \times \\ \times \left[0,055 \cdot H_{11} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} + 0,061 \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max}} \right] \cdot \tau_s .$$

Расстояние от наиболее глубокой впадины до средней линии профиля по формуле (9):

$$W_{m1} = \frac{t_{f11} - \Delta r_{11}}{2} .$$

$$W_{m1} < \Delta r_{11} \Rightarrow \text{Условие (10) выполняется} .$$

Средняя арифметическая высота профиля по формуле (11):

$$Ra_1 = \frac{0,25 \cdot V_u^{0,4} \cdot t_{f11}^{0,6}}{K_c^{0,4} \cdot (V_u + V_k)^{0,4} \cdot n_3^{0,4} \cdot D_3^{0,2} \cdot \rho_3^{0,2}} .$$

Второй проход

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия подачи по формуле (2):

$$\Delta A_{s2} = S + N .$$

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия упругих деформаций по формуле (3):

$$\Delta A_{y2} = \omega_{TS}(P_{y11} - P_{y0}) .$$

Изменение радиуса круга по формуле (4):

$$\Delta R_2 = 0,1 \cdot t_{f11} .$$

Изменение глубины микрорезания по формуле (1):

$$\Delta t_{f2} = \Delta A_{s2} - \Delta A_{y2} - \Delta R_2 - \Delta r_{11} .$$

Из уравнения баланса глубина микрорезания:

$$t_{f2} = t_{f11} + \Delta t_{f2} .$$

Величина радиального съёма материала по формуле (5):

$$\Delta r_2 = \frac{t_{f2}^2}{1,478 \cdot t_{f2} + \frac{13,66 \cdot V_u}{K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_3 \rho_3}}} .$$

Величина слоя, в котором распределена шероховатость по формуле (6):

$$H_2 = t_{f2} - \Delta r_2 .$$

Сила резания по формуле (7):

$$\begin{aligned} P_{y2} &= 3\sqrt{2} \cdot L_k \cdot n_3 \\ &\cdot \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max} \cdot H_2 \cdot D_3} \times \\ &\times \left[0,055 \cdot H_2 \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} + 0,061 \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max}} \right] \cdot \tau_s . \end{aligned}$$

Уточняющий расчёт

Изменение межцентрового расстояния из-за наличия упругих деформаций по формуле (3):

$$\Delta A_{y21} = \omega_{TS}(P_{y2} - P_{y11}) .$$

Изменение глубины микрорезания по формуле (1):

$$\Delta t_{f21} = \Delta A_{s2} - \Delta A_{y21} - \Delta R_2 - \Delta r_{11} .$$

Из уравнения баланса глубина микрорезания:

$$t_{f21} = t_{f11} + \Delta t_{f21} .$$

Величина радиального съёма материала по формуле (5):

$$\Delta r_{21} = \frac{t_{f21}^2}{1,478 \cdot t_{f21} + \frac{13,66 \cdot V_u}{K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_3 \rho_3}}} .$$

Величина слоя, в котором распределена шероховатость по формуле (6):

$$H_{21} = t_{f21} - \Delta r_{21} .$$

Сила резания по формуле (7):

$$\begin{aligned} P_{y21} &= 3\sqrt{2} \cdot L_k \cdot n_3 \\ &\cdot \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max} \cdot H_{21} \cdot D_3} \times \\ &\times \left[0,055 \cdot H_{21} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} + 0,061 \sqrt{\rho_3 \cdot h_{3max}} \right] \cdot \tau_s . \end{aligned}$$

Расстояние от наиболее глубокой впадины до средней линии профиля по формуле (9):

$$W_{m2} = \frac{t_{f21} - \Delta r_{21}}{2}.$$

$W_{m2} < \Delta r_{21} \Rightarrow$ Условие (10) выполняется.

Средняя арифметическая высота профиля по формуле (11):

$$Ra_2 = \frac{0,25 \cdot V_u^{0,4} \cdot t_{f21}^{0,6}}{K_c^{0,4} \cdot (V_u + V_k)^{0,4} \cdot n_3^{0,4} \cdot D_3^{0,2} \cdot \rho_3^{0,2}}.$$

Для установившегося режима принять следующие значения исходных данных: $t_{fуст} = t_{fk1}$; $P_{уст} = P_{yk1}$; $\Delta r_{уст} = \Delta r_{k1}$; $S_{уст} = 0$ м; $\Delta t_{fуст} = \Delta t_{fk1}$, где k – номер последнего прохода на режиме врезания.

Количество проходов на установившемся режиме – минимум 3.

Для режима выхаживания принять следующие значения исходных данных: $S_{вых} = 0$ м; $N_{вых} = 0$ м. Дальнейший расчёт аналогичен режиму врезания.

Расчёт проходов для режима выхаживания нужно вести до прохода, после которого значение средней арифметической высоты профиля будет совпадать с требуемого значения шероховатости.

После выполнения расчётов результаты необходимо представить в таблице по аналогии с таблицей 1.

Таблица 1 – Расчётные данные

В метрах

№ прохода	Δt_{fi}	t_{fi}	ΔR_i	Δr_{i-1}	ΔA_{yi}	H_i

На завершающем этапе необходимо повторить расчёт для величины слоя, в котором распределена шероховатость H и радиального съёма материала Δr для различных значений скоростей круга. По результатам расчётов необходимо построить графики зависимостей $H(V_k)$ и $\Delta r(V_k)$.

2.4.4 Расчёт математического ожидания высоты неровностей

Математическое ожидание высотных параметров шероховатости поверхности определяются по формулам (12) и (13) для последнего прохода режима выхаживания:

$$M[R_{max}] = H - 2 \sqrt{\frac{2 \cdot V_u \cdot t_f^{\frac{3}{2}}}{3 \cdot n_3 \cdot (V_k + V_u) \cdot L_b \cdot \sqrt{D_3}}} ; \quad (12)$$

$$M[R_z] = H - 2,95 \sqrt{\frac{V_u \cdot t_f^{\frac{3}{2}}}{n_3 \cdot (V_k + V_u) \cdot L_b \cdot \sqrt{D_3}}} , \quad (13)$$

где L_b – базовая длина, м;

Базовую длину принять $L_b = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м.

2.5 Расчёт вероятностей удаления и неудаления материала

Вероятность удаления материала при обработке поверхности инструментом без регулярной геометрии рассчитывается по формуле (14):

$$P(M) = 1 - e^{-a(y,z)} , \quad (14)$$

где $a(y, z)$ – показатель, определяющий вероятность удаления материала на уровне y в зоне контакта;

Вероятность неудаления материала в свою очередь определяется по формуле (15):

$$P(\bar{M}) = 1 - P(M) . \quad (15)$$

Показатель $a(y, z)$ рассчитывается по формуле (16)

$$a(y, z) = \frac{3\pi \cdot K_c \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_3} \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot (t_f - y)^2}{8 \cdot V_u \cdot H^{\frac{3}{2}}} \times \\ \times \left(z - \frac{2 \cdot z^3}{3 \cdot L_y^2} + \frac{z^5}{5 \cdot L_y^4} + \frac{8}{15} \cdot L_y \right) , \quad (16)$$

где y – величина уровня, m ;

z – пределы интегрирования;

L_y – расстояние от основной плоскости до пересечения уровня с условной наружной поверхностью инструмента, m .

Величина уровня рассчитывается по формуле (17):

$$y = [0,5 \dots 0,9] \cdot t_f . \quad (17)$$

Расстояние от основной плоскости до пересечения уровня с условной наружной поверхностью инструмента рассчитывается по формуле (18):

$$L_y = \sqrt{(t_f - y) \cdot D_3} . \quad (18)$$

Пределы интегрирования рассчитываются в зависимости от расстояния до основной плоскости по формуле (19):

$$z = m \cdot \frac{L_y}{2} , \quad (19)$$

где $m = \{-0,8 \dots 0,8\}$.

Расчёт выполняется для всех проходов установившегося режима и режима выхаживания.

Последовательность расчёта:

1. Задать глубину t_f ;
2. Для глубины t_f рассчитать диапазон уровней y .
3. Для каждого уровня из диапазона y рассчитать диапазон значений z ;
4. Рассчитать вероятности удаления и неудаления материала для каждого значения z в пределах каждого уровня.
5. Повторить пп.1 – 4 для каждого значения глубины микрорезания.

Результаты расчёта необходимо представить в виде таблицы по

аналогии с таблицей 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта вероятности удаления материала

$t_f, м$	$y, м$	$z, м$	$a(y,z)$	$P(M)$	$P(\bar{M})$

По результатам расчёта необходимо построить поверхностную диаграмму для одного значения глубины микрорезания, где по горизонтальным осям отложены значения y и z , а по вертикальной оси – соответствующее им значение $P(M)$.

Пример поверхностной диаграммы представлен на рисунке 1.

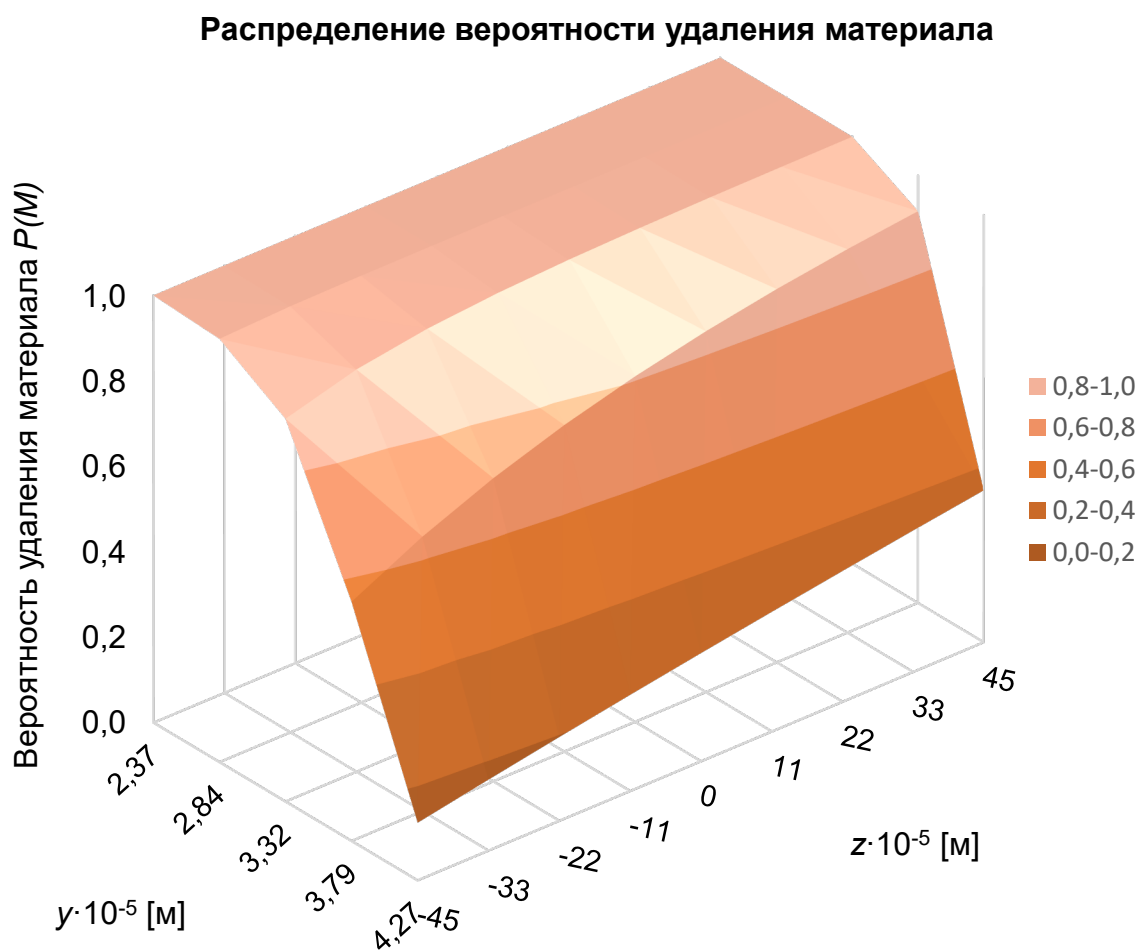


Рисунок 1 – Пример поверхностной диаграммы

2.6 Расчёт основного времени

Величина основного времени, затрачиваемого на продольное шлифование на проход, определяется по формуле (20):

$$\tau_{oi} = \frac{L_p \cdot \Delta r_i}{S_B \cdot L_K \cdot n_{\text{заг}} \cdot S_i}, \quad (20)$$

где L_p – длина рабочего хода, м;

S_B – коэффициент пропорциональности, $S_B = 0,3$;

L_K – высота шлифовального круга, м;

$n_{\text{заг}}$ – частота вращения заготовки, мин^{-1} ;

S_i – подача, м.

Длина рабочего хода определяется по формуле (21):

$$L_p = l + 2 \cdot L_K, \quad (21)$$

где L – длина обрабатываемого участка, м.

Частота вращения заготовки рассчитывается по формуле (22):

$$n_{\text{заг}} = \frac{60 \cdot V_u}{\pi d}. \quad (22)$$

Сила резания определяется по формуле (23):

$$P_{zi} = \frac{P_{yi}}{1,5}. \quad (23)$$

Мощность резания заготовки рассчитывается по формуле (24):

$$N_{\text{зари}} = P_{\text{зи}} \cdot V_u \text{ .} \quad (24)$$

Мощность резания шлифовального круга рассчитывается по формуле (25):

$$N_{\text{кри}} = P_{\text{зи}} \cdot V_{\text{к}} \text{ .} \quad (25)$$

4 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Отрецензированные руководителем курсовые проекты студенты защищают перед специальной комиссией. Защита проходит по утвержденному графику. Доклад должен быть сжатым и содержательным. Регламент доклада – 4...5 *мин.* В процессе доклада студент отмечает актуальность, цели и задачи курсового проекта; представляет порядок расчета режимов резания и вероятности удаления материала; основные результаты; излагает выводы.

После доклада студент отвечает на вопросы членов комиссии. При оценке курсового проекта комиссия учитывает качество выполненной работы, соответствие ее содержания и оформления требованиям, изложенным в методических указаниях, результаты защиты и соблюдение графика представления работы.

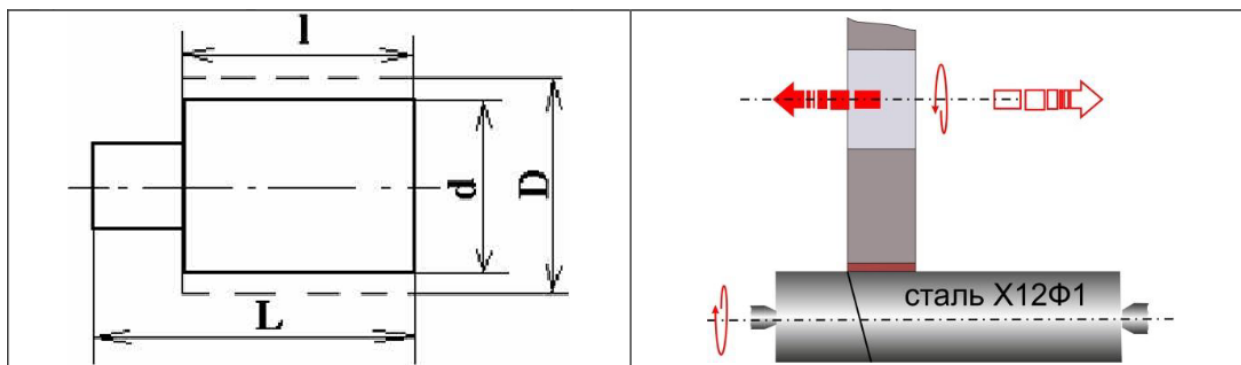
В случаях, когда защита курсового проекта признается неудовлетворительной, комиссия устанавливает срок представления к повторной защите указанной работы с необходимыми доработками и устранением замечаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 846 с.
2. Ивашинников, В.Т. Выбор характеристик шлифкругов для различных операций шлифования / В.Т. Ивашинников. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1966. – 124 с.
3. ГОСТ Р 52381 – 2005 Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава: дата введения 2006-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 11 с.
4. ГОСТ Р 52587 – 2006 Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости: дата введения 2008-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 10 с.
5. ГОСТ Р 52781 – 2007 Круги шлифовальные и заточные. Технические условия: дата введения 2009-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 30 с.
6. Новосёлов, Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новосёлов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

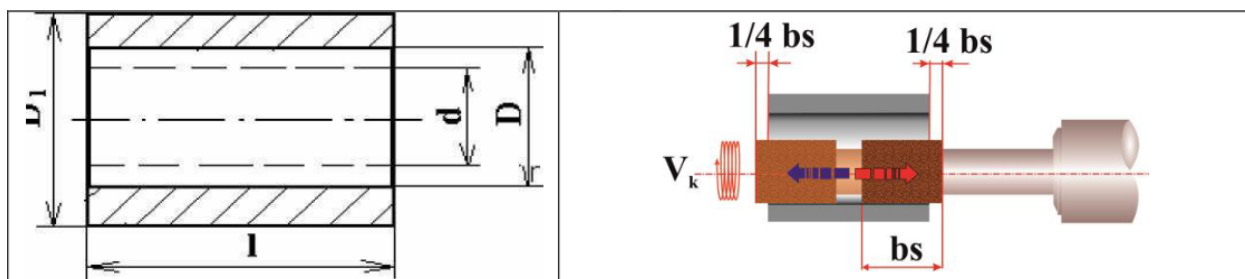
Таблица А1 – Исходные данные для расчёта режима резания при круглом наружном шлифовании (заготовка установлена в центрах)



Вариант	Размеры детали, мм				Шероховатость поверхности R_a , мкм	Заготовка	
	D	d	L	l		Материал	Твердость, HRC
1	27	26	350	300	1,6	Сталь 65Г	45
2	55,8	55	420	350	1,25	Сталь 40ХС	50
3	60,5	60	400	320	1,6	Сталь Р6М5	62
4	30,6	30	480	400	1,6	Сталь 45	48
5	66	65	380	350	1,25	Сталь 12ХН3А	45
6	42,8	42	550	470	2,0	Сталь У10А	60
7	52,6	50	400	300	1,25	Сталь ШХ15	54
8	38,8	38	350	300	0,8	Сталь 50	50
9	35,6	35	300	250	1,25	Сталь ХВГ	54
10	42,6	42,1	450	380	1,6	Сталь Р6М3	60
11	56	55	500	450	1,6	Сталь Р9К10	62
12	30,8	30	320	250	0,63	В2Ф	58
13	44,8	44	250	90	1,25	Сталь У12А	62
14	20,3	20	350	300	2,0	Сталь 45Х	54

15	25,4	25	420	350	0,8	Сталь 30ХГСА	54
16	36	35	380	320	0,63	Сталь 38ХН	45
17	42,5	42	570	500	1,6	Сталь 9ХС	58
18	31,2	30,2	450	400	1,25	Сталь 45	45
19	70,7	70	280	200	1,6	Сталь ШХ15	60
20	37	36	430	280	1,25	Сталь Р6М5	60
21	59	58,5	350	300	0,8	Сталь Р6М5К5	62
22	45,4	45	440	280	1,25	Сталь У8А	58
23	45,4	45	290	250	1,6	Сталь ХВГ	56
24	69	68,2	520	450	1,25	Сталь 40Х	50
25	48,5	48	420	350	0,63	Сталь 30ХГСА	48

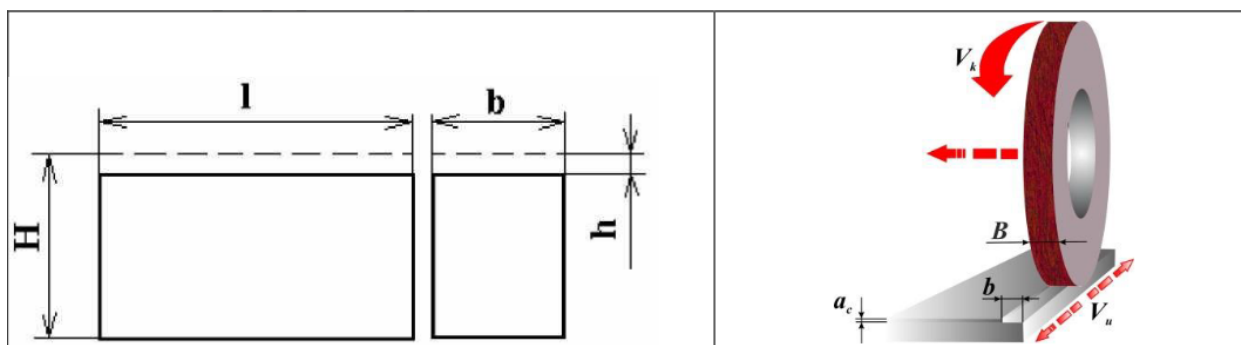
Таблица А2 -Исходные данные для расчёта режима резания при шлифовании внутреннем (деталь установлена в патроне)



Вариант	Размеры детали, мм				Шероховатость поверхности R_a , мкм	Заготовка	
	D	d	l	D1		Материал	Твердость, HRC
1	160	159	75	250	1,6	Сталь 65Г	45
2	110	109,2	150	180	1,25	Сталь 40ХС	50
3	130	128,8	200	280	1,6	Сталь Р6М5	62
4	75	74,5	50	170	1,25	Сталь Р6М5	60
5	70	68,9	120	200	1,6	Сталь У10А	62

6	115	114	120	180	1,25	Сталь ШХ15	60
7	120	118,5	80	140	2,0	Сталь 45	45
8	125	124,2	150	260	2,0	Сталь Г13	42
9	110	109,4	90	130	0,63	Сталь 40Х	48
10	65	64,5	120	250	0,8	СЧ40	НВ 240
11	50	49,6	80	220	1,25	Сталь Р18	62
12	80	79,5	100	120	0,63	Сталь Р9К10	62
13	95	94,2	70	140	0,8	Сталь У8А	60
14	90	89,4	95	150	1,25	Сталь 50	48
15	140	139	120	180	0,63	Сталь ХВГ	54
16	105	103,8	120	180	1,6	Сталь Р6М3	60
17	135	134	85	300	0,8	ВЧ 45-5	НВ 170
18	78	77	150	160	2,0	Сталь 40ХС	50
19	96	95	65	140	0,63	Сталь Р6М5К5	62
20	150	148	120	220	0,63	Сталь 65Г	62
21	72	71,4	65	300	1,25	ВЧ 50-7	НВ 160
22	112	111,2	80	250	0,8	Сталь 45	50
23	92	91,4	85	150	1,6	СЧ 28	НВ 220
24	118	117,2	120	300	1,25	Сталь ХВГ	48
25	60	59,2	180	120	0,63	СЧ 15	НВ 220

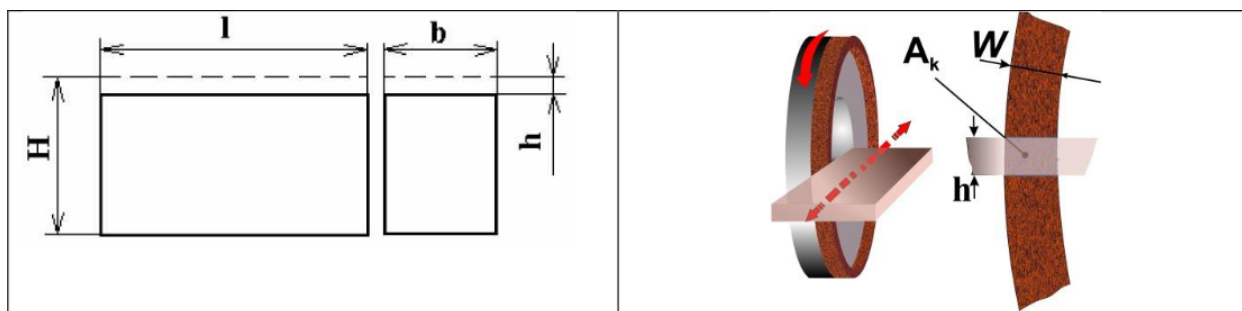
Таблица А3 – Исходные данные для расчёта режима резания при шлифовании плоскости периферией круга



Вариант	Размеры детали, мм				Шероховатость поверхности R_a , мкм	Заготовка	
	L	b	H	h		Материал	Твердость, HRC
1	610	150	25,8	0,85	2,5	Сталь ХВСГ	62
2	340	180	40	0,35	2,5	СЧ 25	HB 180
3	575	220	75	1,2	0,63	Сталь Р9К10	58
4	400	150	65,5	0,5	0,8	Сталь 45Х	44
5	360	240	62,9	0,9	1,25	Сталь 30ХГСА	54
6	240	125	21,8	0,3	1,6	Сталь 38ХН	45
7	290	100	38,5	0,85	2,5	Бр0Ц4-3	HB 130
8	450	125	17,3	1,15	0,63	Сталь 9ХС	62
9	580	165	22	0,5	1,6	Сталь ХВГ	58
10	370	160	40	0,4	2,0	12ХН3А	55
11	490	105	28,5	0,5	2,5	Сталь 65Г	60
12	300	120	10	0,3	0,8	Сталь ШХ15	44
13	480	150	40	0,5	1,6	Сталь Р6М5	64
14	320	140	32	0,85	1,25	ВЧ 50-7	HB 200
15	240	200	18,5	0,55	0,63	СЧ 28	HB 170
16	460	125	12,3	0,3	0,8	Сталь 40Х	40

17	300	80	16,5	0,5	2,5	СЧ 36	HB 200
18	350	160	45	0,25	1,25	Сталь P18	64
19	470	250	16,5	0,3	2,5	Сталь 38ХМЮА	58
20	580	225	25,4	0,25	2,0	Сталь У10А	50
21	250	95	32,6	0,6	1,25	Сталь 50	35
22	560	260	18	0,65	1,6	Сталь Р6М5	60
23	220	70	21,4	0,4	0,63	Сталь 60С2	58
24	640	250	32,7	0,7	1,25	ВЧ 50-7	HB 220
25	270	175	50,6	0,6	1,6	БрАЖ9-4	HB 120

Таблица А4 – Исходные данные для расчёта режима резания при шлифовании плоскости торцом круга



Вариант	Размеры детали, мм				Шероховатость поверхности R_a , мкм	Заготовка	
	D	d	L	l		Материал	Твердость, HRC
1	245	175	60	1,05	1,25	Сталь 40X	50
2	460	170	25	0,75	2,5	СЧ 28	HB 190
3	350	160	45,3	0,3	0,63	Сталь P18	62
4	580	200	35,4	0,45	1,25	Сталь У10А	60
5	470	250	20,4	0,4	0,63	Сталь 38ХМЮА	54
6	250	125	42,8	0,8	0,3	Сталь P6M5	62
7	560	215	30,2	0,2	0,63	Сталь 60С2	54
8	240	80	12,5	0,25	0,32	ВЧ 50-7	HB 200
9	580	300	28,5	0,4	2,5	БрАЖ9-4	HB 120
10	645	125	20	0,45	1,25	Сталь ХВСГ	54
11	325	150	22	1,0	0,63	Сталь 45X	54
12	570	240	30,5	0,45	1,25	СЧ 15	HB 180
13	440	180	17,5	0,5	0,63	Сталь P9K10	62
14	380	145	50	0,75	0,32	Сталь 9XC	54
15	320	100	15	0,4	1,25	Сталь 38ХН	48
16	450	150	35	0,85	0,63	БрОЦ4-3	HB 130

17	275	125	70	0,7	2,5	Сталь ХВГА	45
18	375	150	30	1,0	1,25	Сталь 45	48
19	410	125	40	0,25	0,32	Сталь 65Г	48
20	250	105	21	0,55	0,63	Сталь Р6М5К5	62
21	400	150	15,5	0,45	1,25	СЧ 24	НВ 180
22	560	135	15,3	0,25	2,5	Сталь Р6М5	60
23	250	105	40	0,5	0,63	Сталь 50	52
24	480	250	25	0,75	1,25	Сталь ШХ15	54
25	300	120	50	1,25	0,32	ВЧ 60-2	НВ 220

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Выбор зернистости в зависимости от вида обработки

Номер зернистости	Область применения
F10, F12	Для очистки чугунного литья, блюксов, слябов и заготовок проката, где требуется снимать много металла
F16 F20, F24	Ручные обдирочные операции: зачистка заготовок, отливок, поковок, штампованных деталей. Правка шлифовального круга
F30, F36	Плоское шлифование торцом круга, заточка крупных и средних резцов, отрезка металлов и неметаллических материалов. Черновое шлифование кругами из Э
F46, F54	Предварительная и окончательная шлифовка без съёма детали со станка. Заточка режущего инструмента
F60, F70, F90	Чистовое шлифование. Обработка профильных поверхностей, заточка мелких инструментов, шлифование хрупких материалов
F100, F120	Отделочное шлифование. Доводка твердых сплавов и режущих инструментов, заточка лезвий

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 – Выбор твердости шлифовального круга

Вид обработки	Твердость
Правка абразивных инструментов	Т – W
Шлифование шариков подшипников и деталей часовых механизмов	
Обдирочные операции, ведущиеся вручную (обработка крупных отливо и поковок)	P – S
Прорезка канавок; круглое наружное шлифование методом врезания, при необходимости сохранить профиль круга (например, обработка шеек коленчатых валов); бесцентровое шлифование ведущими кругами; резбошлифование с шагом 0,5 – 1,0 мм	P – S
Резбошлифование кругами на бакелитовой связке, профильное шлифование, обработка прерывистых поверхностей	N – P
Плоское шлифование сегментами и кольцевыми кругами на бакелитовой связке, внутреннее шлифование, резбошлифование с шагом 1,0 – 1,5 мм	M – O
Резбошлифование деталей с крупным шагом	K – N
Заточка режущих инструментов: вручную	M – N
Заточка режущих инструментов: с механической или автоматической подачей	K – L
Заточка и доводка режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, шлифование труднообрабатываемых специальных сплавов	J – K
Круглое наружное: врезанием с продольной подачей	L – N L – M
Бесцентровое: врезанием с продольной подачей	N – O M – N
Внутреннее	M – N
Плоское: Периферией круга торцом круга	J – K I – K

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1 – Выбор связки

Связка	Вид обработки
<i>V</i>	Все виды шлифования, кроме обдирки, отрезки и прорезки узких пазов; плоского шлифования сегментными кругами и шлифования желобов колец шарикоподшипников.
<i>MG</i>	Изготавливают в основном бруски и круги прямого профиля для обработки гранита и заточки режущих поверхностей, не требующих большой точности. Отличается высокой способностью к самозатачиванию, что обеспечивает низкую температуру шлифования.
<i>S</i>	Шлифование без охлаждения при минимальном нагреве обрабатываемой поверхности. Скорость шлифования до 30 м/с. Имеет преимущество по сравнению с бакелитовой. Крупногабаритные круги для отделочных операций. Шлифование и заточка профильного и резьбового инструмента из инструментальных сталей.
<i>B</i>	Обдирочное шлифование; отрезка и прорезка пазов; шлифование ручным машинками; обработка хрупких материалов; шлифование с целью снижения вероятности образования шлифовочных прижогов и трещин; заточка инструментов; отделочное шлифование цилиндров, кулачков и роликов мелкозернистыми абразивными инструментами.
<i>R</i>	Отрезка; прорезка и шлифование пазов; обработка сферических поверхностей; чистовые операции при других видах профильного шлифования; безцентровое шлифование (ведущие круги); отделочное шлифование и полирование гибкими кругами.
<i>BE</i>	Полирование ($Ra < 0,1$ мкм), финишное шлифование магнитных сплавов.
<i>E</i>	Круги и сегменты для заточки и доводки тонких лезвий инструмента.
<i>PL</i>	Шлифование алюминиевых и медных сплавов, печатных плат, резины, полимеров; доводка изделий из сталей и сплавов, в том числе труднообрабатываемых; удаление заусенцев. Изготовление голтовочных тел, абразивных шеверов для обработки зубчатых колес.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д1 – Выбор структуры абразивного инструмента

Вид обработки	Номер структуры
Чистовая обработка твердых и хрупких материалов при больших давлениях	1 – 3
Профильное шлифование, при необходимости сохранить профиль круга; шлифование при больших, а также переменных нагрузках; отрезка	3 – 4
Круглое наружное шлифование, бесцентровое шлифование, плоское шлифование периферией круга и заточка инструмента	5 – 6
Плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование, заточка инструмента	7 – 9
Шлифование и заточка инструмента, оснащенного твердым сплавом	8 – 10
Резьбошлифование мелкозернистыми кругами, глубинное шлифование	8 – 12 и более

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица Е1 – Выбор количества зерен в единице площади и радиусов закругления вершин зерен в зависимости от абразивного материала

Материал						
Обозначение зернистости	Ширина зерна b_3 , мкм	Количество зерен в единице площади n_3 , шт/мм ²				Радиусы закруглений вершин зерен ρ_3 , мкм
		Номер структуры				
		4	5	6	7	
Электрокорунд белый						
F4	6800	0,0161	0,0155	0,0149	0,0143	285,6
F5	5700	0,0227	0,0218	0,021	0,0201	240,45
F6	4800	0,0322	0,031	0,0298	0,0286	201,6
F7	4100	0,0453	0,0436	0,0419	0,0402	170,1
F8	3400	0,0642	0,0619	0,0595	0,0571	142,8
F10	2900	0,0911	0,0877	0,0844	0,081	119,91
F12	2400	0,1289	0,1241	0,1194	0,1146	100,8
F14	2000	0,1802	0,1735	0,1668	0,1602	85,26
F16	1700	0,2569	0,2474	0,2379	0,2284	71,4
F20	1400	0,3581	0,3448	0,3316	0,3183	60,48
F22	1200	0,5157	0,4966	0,4775	0,4584	50,4
F24	1000	0,7208	0,6941	0,6674	0,6407	42,63
F30	855	1,0158	0,9781	0,9405	0,9029	35,91
F36	725	1,4127	1,3604	1,3081	1,2557	30,45
F40	605	2,0287	1,9536	1,8784	1,8033	25,41
F46	512,5	2,8271	2,7224	2,6177	2,513	21,525
F54	427,5	4,0631	3,9126	3,7621	3,6116	17,955
F60	362,5	5,6508	5,4415	5,2322	5,023	15,225
F70	302,5	8,1148	7,8142	7,5137	7,2131	12,705
F80	256	11,331	10,911	10,491	10,072	10,752
F90	215	16,064	15,469	14,874	14,279	9,03
F100	181	22,666	21,826	20,987	20,147	7,602
F120	152,5	31,929	30,747	25,564	28,382	6,405
F150	128	45,322	43,643	41,965	40,286	5,376
F180	107,5	64,256	61,8757	59,496	57,116	4,515
F220	90,5	90,663	87,305	83,947	80,589	3,801

Таблица Е2 – Выбор количества зерен в единице площади и радиусов закругления вершин зерен в зависимости от абразивного материала

Материал						
Обозначение зернистости	Ширина зерна b_3 , мкм	Количество зерен в единице площади n_3 , шт/мм ²				Радиусы закруглений вершин зерен ρ_3 , мкм
		Номер структуры				
		4	5	6	7	
Карбид кремния зеленый						
F4	6800	0,0178	0,0172	0,0165	0,0159	231,2
F5	5700	0,0252	0,0242	0,0233	0,0224	194,65
F6	4800	0,0358	0,0345	0,0332	0,0318	163,2
F7	4100	0,0503	0,0484	0,0466	0,0447	137,7
F8	3400	0,714	0,0687	0,0661	0,0634	115,6
F10	2900	0,1012	0,0975	0,0937	0,09	97,07
F12	2400	0,1432	0,1379	0,1326	0,1273	81,6
F14	2000	0,2002	0,1928	0,1854	0,178	69,02
F16	1700	0,2855	0,2749	0,2643	0,2538	57,8
F20	1400	0,3979	0,3832	0,3684	0,3537	48,96
F22	1200	0,573	0,5517	0,5305	0,5093	40,8
F24	1000	0,8009	0,7712	0,7415	0,7119	34,51
F30	855	1,1286	1,0868	1,045	1,003	29,07
F36	725	1,5697	1,5115	1,453	1,395	24,65
F40	605	2,2541	2,1706	2,087	2,004	20,57
F46	512,5	3,1412	3,0249	2,909	2,792	17,425
F54	427,5	4,5145	4,347	4,18	4,013	14,535
F60	362,5	6,2787	6,046	5,814	5,581	12,325
F70	302,5	9,0164	8,683	8,349	8,015	10,285
F80	256	12,589	12,123	11,657	11,19	8,704
F90	215	17,849	17,188	16,527	15,866	7,31
F100	181	25,184	24,251	23,319	22,286	6,154
F120	152,5	35,477	34,163	32,849	31,535	5,185
F150	128	50,358	48,493	46,627	44,762	4,352
F180	107,5	71,395	68,751	66,107	63,462	3,655
F220	90,5	100,74	97,01	93,275	89,544	3,077

ТЕХНОЛОГИЯ АБРАЗИВНО-АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

*Методические указания
к выполнению курсового проекта по дисциплине*

**Составители: Братан С. М., Харченко А. О.,
Часовитина А. С., Тищенко И.В.**

В авторской редакции

Изд. № 107/2024. Объем 2,5 п.л. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,45.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»