

Шлифование



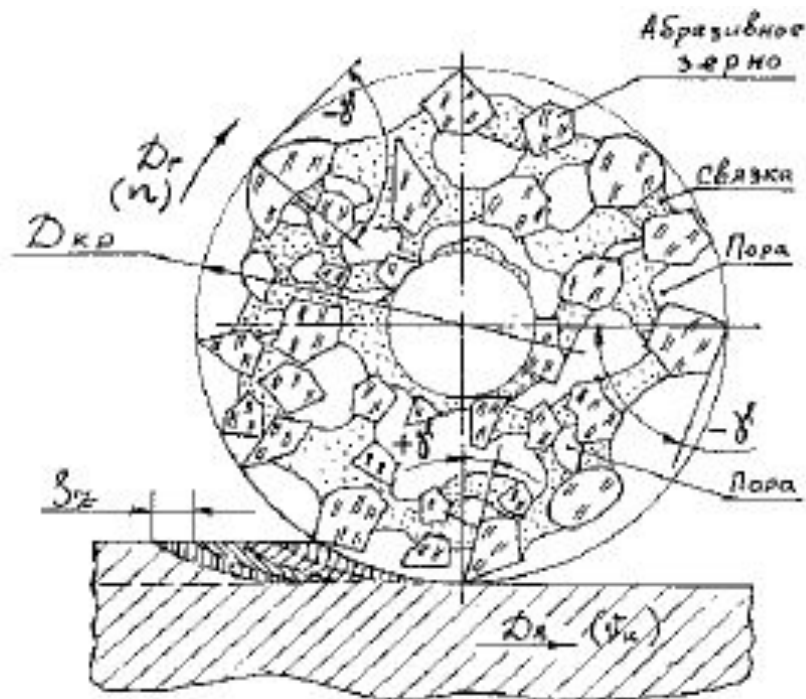
Сущность процесса шлифования

Шлифованием называется процесс обработки заготовок резанием абразивными кругами. Зерна в круге расположены хаотично, не сориентированы по отношению к направлению главного движения резания своими режущими кромками.

Некоторые абразивные зерна режут металл, другие его сминают. Поэтому резание каждым зерном происходит с различными энергетическими затратами, и для его осуществления необходима большая скорость резания.



Ниже представлена схема расположения абразивных зерен на поверхности абразивного круга по окружности, лежащей в плоскости перпендикулярной оси вращения круга. Эти зерна последовательно друг за другом срезают припуск по одной линии в направлении продольной подачи. Каждое абразивное зерно вслед за предыдущим срезает стружку, толщина которой соответствует величине подачи на зуб (на зерно) s_z .



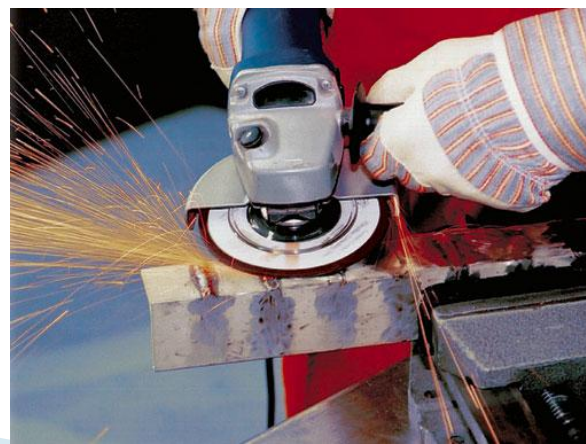
Таким образом,

$$s_z = \frac{v_H}{N} \text{ мм/зерно,}$$

где s_z – подача на зуб (зерно), мм/зуб; v_H – скорость продольной подачи, мм/мин; N – число срезов, сделанных в течение одной минуты абразивными зернами, лежащими в одной плоскости на периферийной поверхности абразивного круга, $N = n_{\text{кр}} \cdot z_{\text{а.з.}}$; $z_{\text{а.з.}}$ – число абразивных зерен на окружности периферийной поверхности круга в плоскости нормальной к оси его вращения,

$$z_{\text{а.з.}} = \frac{\pi D_{\text{кр}} C}{100 \cdot \delta},$$

где $D_{\text{кр}}$ – наружный диаметр круга, мм; δ – поперечный размер абразивных зерен, мм; C – содержание абразивных зерен, %.



Исходя из этого,

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_H \cdot 100 \cdot \delta}{n_{кр} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{кр}} \text{ мм/зерно.}$$

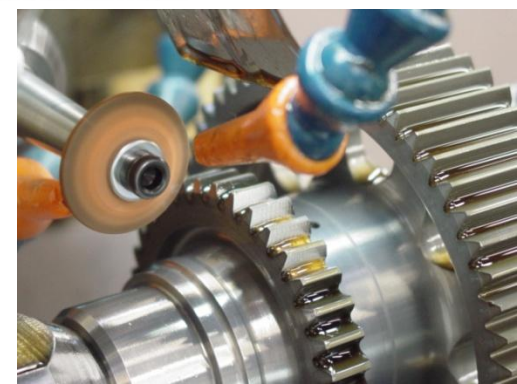
С целью количественной оценки значения подачи s_z , приходящейся на одно абразивное зерно, проведем расчет для произвольно принятых условий шлифования, в пределах реально применяемых в практике машиностроения.

Предположим, что шлифование плоской поверхности ведется на плоскошлифовальном станке абразивным кругом прямого профиля диаметром $D_{кр} = 200$ мм с зернистостью шлифовального материала 50, что соответствует размеру абразивных зерен $\delta = 0,5$ мм. Структура круга № 3 с объемным содержанием шлифовального материала $C = 50$ %.

Примем скорость продольной подачи $v_H = 12$ м/мин, частоту вращения круга $n_{кр} = 2800$ об/мин.

Для этих условий

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_H \cdot 100 \cdot \delta}{n_{кр} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{кр}} = \frac{1000 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,5}{2800 \cdot 50 \cdot \pi \cdot 200} = 0,00682 \text{ мм/зерно.}$$



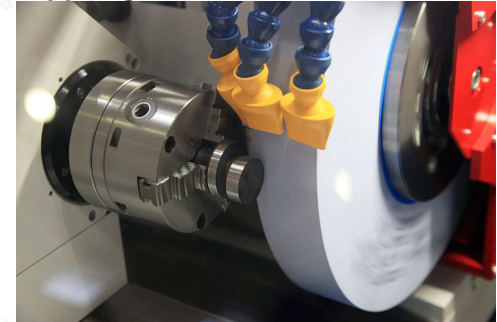
2. АБРАЗИВНЫЕ И АЛМАЗНЫЕ КРУГИ

2.1. Маркировка шлифовальных кругов

Шлифовальные круги характеризуются геометрической формой (типом), видом абразивного материала, его зернистостью, типом связки, твердостью и пр. И при выборе шлифовального круга такие характеристики как степень твердости или структура могут оказаться более значимыми, чем вид абразива.

Полная маркировка шлифовальных кругов содержит:

- тип круга;
- его размеры;
- вид абразивного материала;
- номер зернистости;
- степень твердости;
- структуру (соотношение между абразивом, связкой и порами в теле инструмента);
- вид связки;
- максимальную скорость;
- класс точности;
- класс неуравновешенности.



Маркировка шлифовальных кругов, выполненная в соответствии с ГОСТ 2424-83 (заменен на ГОСТ Р 52781-2007 [8]), у разных производителей может иметь некоторые отличия, касающиеся обозначений зернистости, твердости, марки абразива и связки. То есть, производители по-разному маркируют свои круги, используя старые или новые обозначения или вообще исключая некоторые характеристики.



- 1 - абразивный материал:
25А - электрокорунд белый;
- 2 - зернистость (старая маркировка):
25 - 315-250 мкм;
- 3 - твердость (старая маркировка):
СМ2 - среднемягкий;
- 4 - структура: 6 - средняя;
- 5 - связка (старая маркировка):
К - керамическая;
- 6 - класс точности: Б
- 7 - класс неуравновешенности: 3



- 1 - абразивный материал – 25А (электрокорунд белый);
- 2 - зернистость (старая маркировка) – 60 (по ГОСТу должно быть 63);
- 3 – твердость – К - среднемягкий,
- 4 – структура – 6 - средняя;
- 5 – связка – V - керамическая;
- 6 - класс неуравновешенности – 2.



- 1 - абразивный материал: 25А - электрокорунд белый;
- 2 - зернистость: F46 - средний размер 370 мкм;
- 3 - твердость: L - среднемягкий;
- 4 - структура: 6 - средняя;
- 5 - связка: V - керамическая;
- 6 - окружная скорость: 35 м/с;
- 7 - класс точности: Б
- 8 - класс неуравновешенности: 3

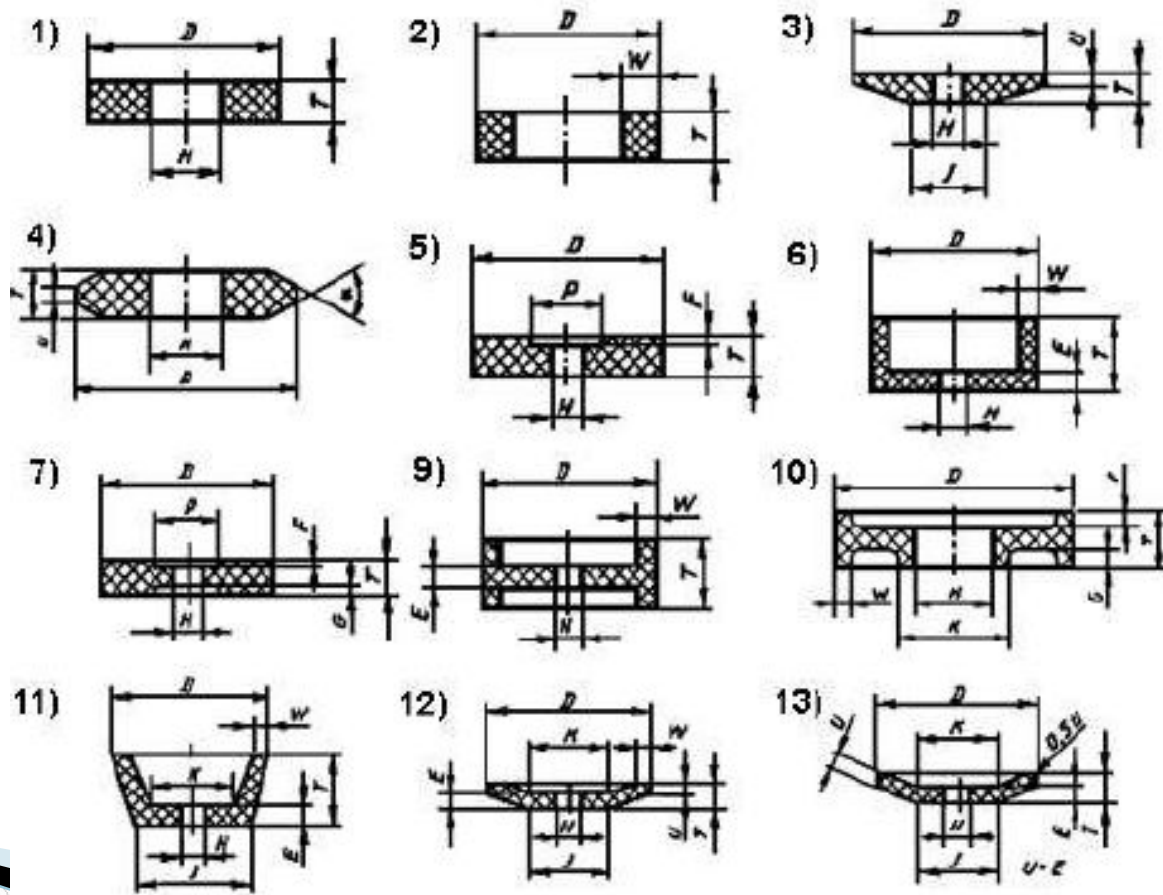
Типы шлифовальных кругов по ГОСТ Р 52781–2007 (в скобках даны обозначения по старому ГОСТ 2424-83)

- 1 (ПП) – прямого профиля;
- 2 (К) – кольцевые;
- 3 (ЗП) – с коническим профилем;
- 4 (2П) – с двусторонним коническим профилем;
- 5 (ПВ) - с выточкой;
- 6 (ЧЦ) – чашечные цилиндрические;
- 7 (ПВД) – с двусторонней выточкой;
- 10 (ПВДС) - с двусторонней выточкой и ступицей;
- 11 (ЧК) – чашечные конические;
- 12, 14 (Т) – тарельчатые;
- 20 – с выборкой;
- 21 – с двусторонней выборкой;
- 22 – с выборкой и выточкой;
- 23 (ПВК) – с выборкой и выточкой на одной стороне;
- 24 – с выборкой и выточкой на одной стороне и с выточкой на другой стороне;
- 25 – с выборкой и выточкой на одной стороне и выборкой на другой стороне;
- 26 (ПВДК) – с выборкой и выточкой на обеих сторонах;
- 35 – торцовый прямого профиля;
- 36 (ПН) – прямого профиля с запрессованными крепежными элементами;
- 37 – кольцевой с запрессованными крепежными элементами;
- 38 – с односторонней ступицей;
- 39 – с двусторонней ступицей.



Пример условного обозначения круга типа 1 наружным диаметром $D = 300$ мм, высотой $T = 20$ мм, диаметром посадочного отверстия $H = 76,2$ мм, из белого электрокорунда марки 25А, зернистостью F60, твердостью К, номером структуры 6, на керамической связке V, с предельной рабочей скоростью 40 м/с, 2-го класса неуравновешенности:

Круг 1 300'20'76,2 25А F60 К 6 V 40 м/с 2 кл. ГОСТ Р 52781-2007



Абразивные материалы



Электрокорунд представляет собой кристаллический оксид алюминия Al_2O_3 . Чем выше содержание кристаллического оксида алюминия в электрокорунде, тем выше его режущие свойства. В зависимости от содержания оксида алюминия различают: нормальный электрокорунд (до 95% Al_2O_3); электрокорунд белый (95...98% Al_2O_3), режущая способность которого на 30...40 % выше. Также используют монокорунд (98...99% Al_2O_3), хромистый, титанистый, циркониевый электрокорунды, легированные соответственно хромом, титаном или цирконием, которые обеспечивают значительное повышение производительности по сравнению с обычным электрокорундом.

Электрокорунд применяется для шлифования сталей, чугунов и цветных металлов. Абразивные материалы из монокорунда предназначены для получистового и чистового шлифования деталей из цементированных, закаленных и высоколегированных сталей. Маркировка электрокорунда: нормальный – 12А, 13А, 14А, 15А, 16А; белый – 22А, 23А, 24А, 25А; монокорунд – 43А, 44А, 45А; хромистый – 33А, 34А; титанистый – 37А; циркониевый – 38А.

Карбид кремния (SiC) по сравнению с электрокорундом обладает большей твердостью, но и хрупкостью. При дроблении его зерна имеют более острые кромки, что обеспечивает повышенную производительность обработки. Карбид кремния выпускают двух марок: черный и зеленый. Карбид кремния черный (КЧ) содержит 95...97 % SiC и применяется для обработки хрупких металлических материалов, цветных металлов и неметаллов. Карбид кремния, содержащий не менее 97 % SiC , имеет зеленый цвет и обладает более высокими свойствами. Он используется преимущественно для заточки твердосплавного режущего инструмента.

Маркировка карбида кремния: черный – 52С, 55С; зеленый – 64С.



Показатели характеристики абразивного круга

Зернистость и индекс зернистости.

Зернистость – условное обозначение абразивного материала, соответствующее размеру абразивных зерен основной фракции. Зернистость абразивного круга выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала и технологических требований (шероховатости поверхности, точности). В зависимости от размеров зерен абразивные материалы подразделяются на следующие группы:

шлифзерно размер зерна 2000...160 мкм;

шлифпорошки размер зерна 125...40 мкм;

микрошлифпорошки размер зерна 63...14 мкм;

тонкие микрошлифпорошки размер зерна 10...4 мкм.

Совокупность абразивных зерен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют фракцией.

Фракцию, преобладающую по массе, объему или числу зерен, называют основной.



Зернистость обозначается цифрами (номером зернистости) и буквами (индексом зернистости). В зависимости от группы материалов приняты следующие обозначения зернистости: шлифзерно и шлифпорошки – числами, равными 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции, например 40, 25, 16, что соответствует размерам зерен 400, 250, 160 мкм; микрошлифпорошки – по верхнему пределу размера зерен основной фракции с добавлением индекса М – М40, М28, М10, что соответствует размерам 40, 28, 10 мкм. Индекс зернистости указывает на содержание зерен основной фракции в круге и означает: В – высокий (55...60 %), П – повышенный (45...55 %), Н – 19 нормальный (40...45 %), Д – допустимый (39...43 %). Примеры обозначений: 40-П, 40-Н, 40-Д.

Индекс	Зернистость				
	200...8	6...4	М63...М28	М20...М14	М10...М5
В	–	–	60	60	55
П	55	55	50	50	45
Н	45	40	45	40	40
Д	41	–	43	39	39

Связка

Связка предназначена для объединения зерен в инструмент, от нее зависит не только прочность удержания зерна в круге, но и прочность самого круга, так как он работает на очень больших скоростях резания, с такой частотой вращения, при которой возникают большие центробежные силы.

Связкой называют вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления зерен шлифовального материала и наполнителя в абразивном инструменте. Наполнитель в инструменте предназначен для придания инструменту необходимых физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств.



Связки подразделяют на органические и неорганические. Из неорганических связок наиболее часто применяются керамические (К) и силикатные (С). Керамическая связка, получившая наибольшее распространение, изготавливается из огнеупорной глины, полевого шпата, кварца, талька, мела и жидкого стекла. Связка огнеупорная и химически стойкая. Круги, изготовленные на ней, не боятся влаги, обладают большой производительностью, хорошо сохраняют форму рабочей кромки. Недостатком этой связки является ее хрупкость, круги из нее боятся ударной нагрузки. Керамическая связка (К1, К2, К3 и др.) применима для всех видов шлифования.

Силикатная связка представляет собой жидкое стекло и имеет небольшую прочность. При работе кругами на силикатной связке не допускается повышение температуры и применение смазочно-охлаждающих жидкостей.



Структура

В любом абразивном инструменте наряду с абразивными зернами и связкой имеются поры (пустоты), способствующие его охлаждению в процессе работы. Структура абразивного круга характеризует отношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте.

Номера структуры делятся на четыре группы и определяют промежутки между зернами. Чем больше номер структуры, тем больше расстояния между зернами. К плотным относятся структуры с номерами 0...3, к среднеплотным – с номерами 4...8, к открытым – с номерами 9...12 и к высокопористым – с номерами 13...20. Правильный выбор структуры будет способствовать меньшему заполнению пор стружкой и повышению производительности.



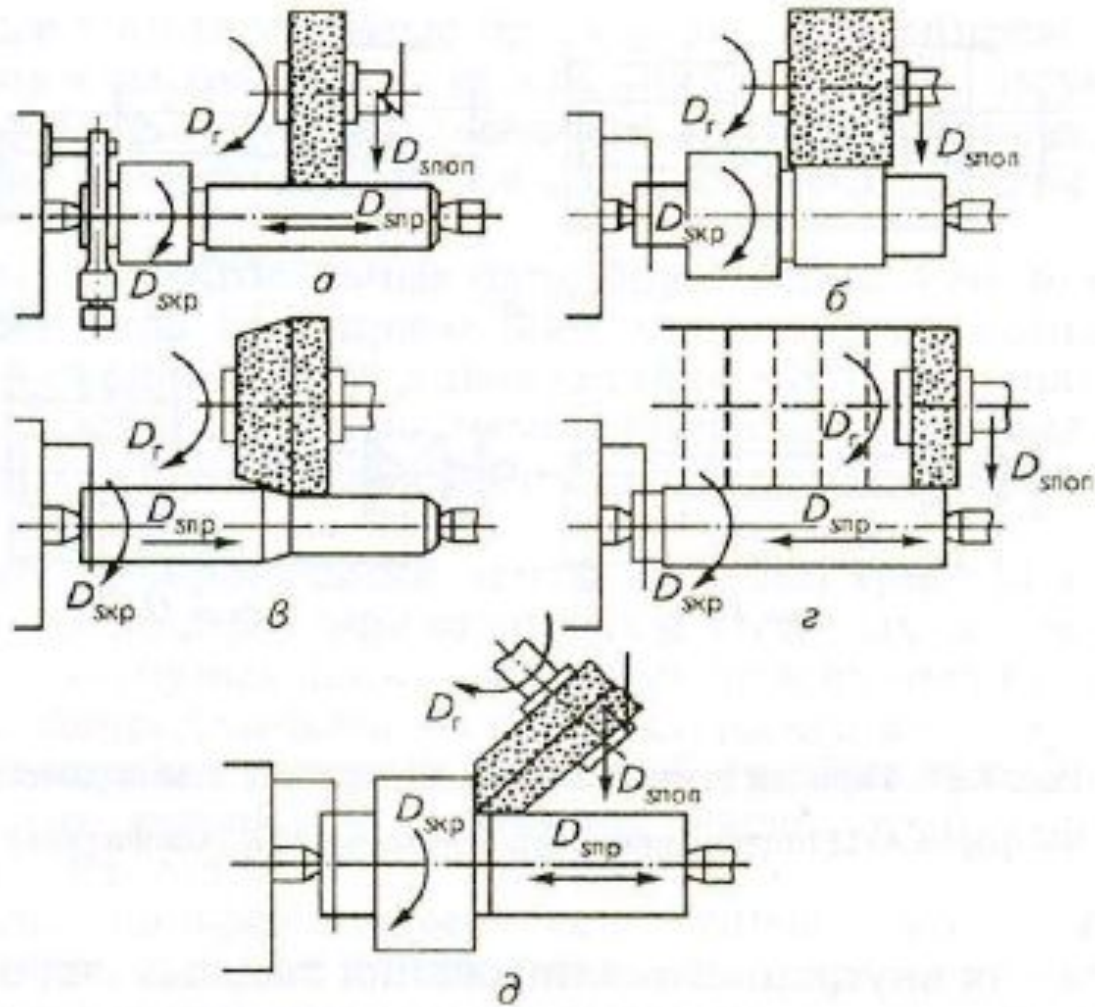
Номер структуры	Объемное содержание шлифовального материала, %	Область применения абразивного инструмента
0...3	62, 60, 58, 56	Инструмент на бакелитовой и керамической связках для шлифования деталей с малым съемом металла, преимущественно для обработки шарикоподшипников
3, 4	56, 54	Профильное шлифование, шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой, разрезание, шлифование твердых и хрупких материалов
4	54, 52, 50	Круглое наружное, бесцентровое, плоское шлифование периферией круга
7...9	48, 46, 44	Плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование, заточка инструмента
8...10	46, 44, 42	Шлифование и заточка инструментов, оснащенных твердым сплавом
8...12	46, 44, 42, 40, 38	Профильное шлифование мелкозернистыми кругами (шлифование резьбы)
13...20	36, 34, 32, 30, 28, 26, 24, 22	Шлифование неметаллических материалов, металлов с низкой теплопроводностью, устранение прижогов и трещин

Таблица 2.3. Пример расшифровки маркировки шлифовального круга

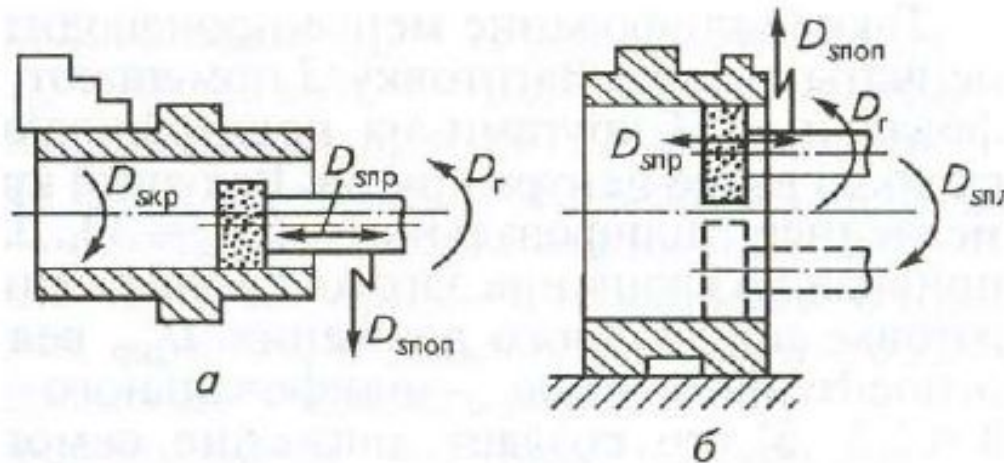
Марка круга: 1500×50×305 24А10-ПС27К1 35м/с А 1 кл.		
Характеристика	Обозначение	Величина
1500×50×305		Плоский прямого профиля диаметром 500 мм, высотой 50 мм, с диаметром отверстия 305 мм
Абразивный материал	24А	Электрокорунд белый
Зернистость и зерновой состав	10-П	Шлифзерно размером 100 мкм с повышенным содержанием зерен основной фракции
Твердость круга	С2	Наибольшая в степени средних
Структура круга	7	Номер 7, средняя
Связка	К1	Керамическая
Скорость резания	35 м/с	Не более указанной
Класс точности круга	А	Средний, применяется при индексе зернистости В, П, Н
Класс неуравновешенности	1	Наилучший

3. ВИДЫ ШЛИФОВАНИЯ

Круглое наружное шлифование в центрах проводится на круглошлифовальных станках по различным схемам (рис. 3.1).



Внутреннее шлифование проводится по двум схемам (рис. 3.2).



1. Шлифование вращающихся заготовок, которые могут быть закреплены в кулачковых патронах или на планшайбах (рис. 3.2а). Шлифовальный круг вводится внутрь заготовки. Движение подачи осуществляется продольным перемещением круга в процессе обработки и поперечным перемещением круга в конце каждого хода или двойного хода, а также заготовкой – круговая подача. Параметры шлифования принимают в 1,5...2 раза меньше, чем при наружном шлифовании. Диаметр шлифовального круга берется равным 0,7...0,8 диаметра обрабатываемого отверстия.
2. Планетарное шлифование (рис. 3.2б) – шлифование неподвижных заготовок, которые не могут вращаться (крупногабаритные, сложной формы и т.д.). При этом все движения подачи осуществляются шлифовальным кругом. Сам круг устанавливается на оси, которая вращается параллельно себе с изменяющимся радиусом вращения. Изменение радиуса вращения оси является поперечной подачей, а продольное перемещение оси круга – продольной. Для обеспечения необходимой скорости резания круг вращается с частотой от 7 000 до 27 10 000 мин⁻¹, в некоторых случаях до 20 000 мин⁻¹, ось круга – с частотой 10 – 20 мин⁻¹.

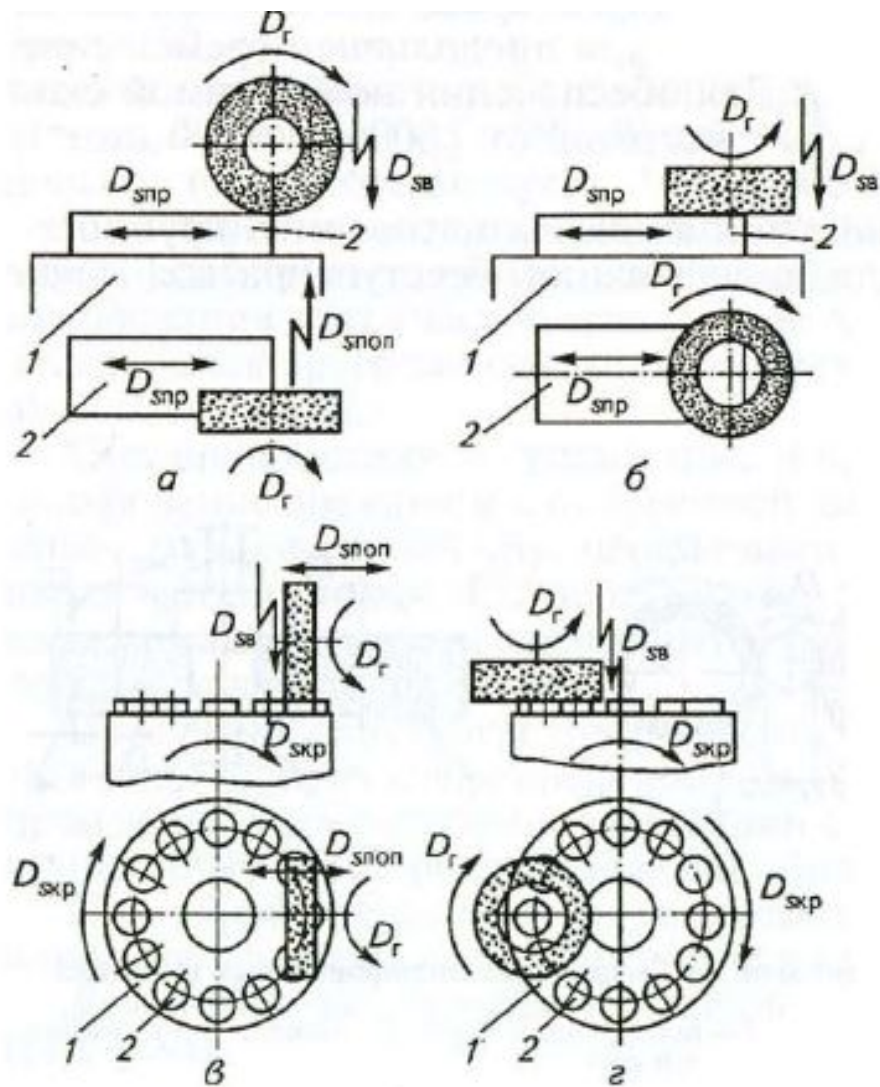


Рис. 3.3. Схемы обработки заготовок на плоскошлифовальных станках:
 а, в – периферией круга; б, г – торцом круга; а, б – на столе с возвратно-
 поступательным движением; в, г – на вращающемся столе;
 1 – стол; 2 – заготовка

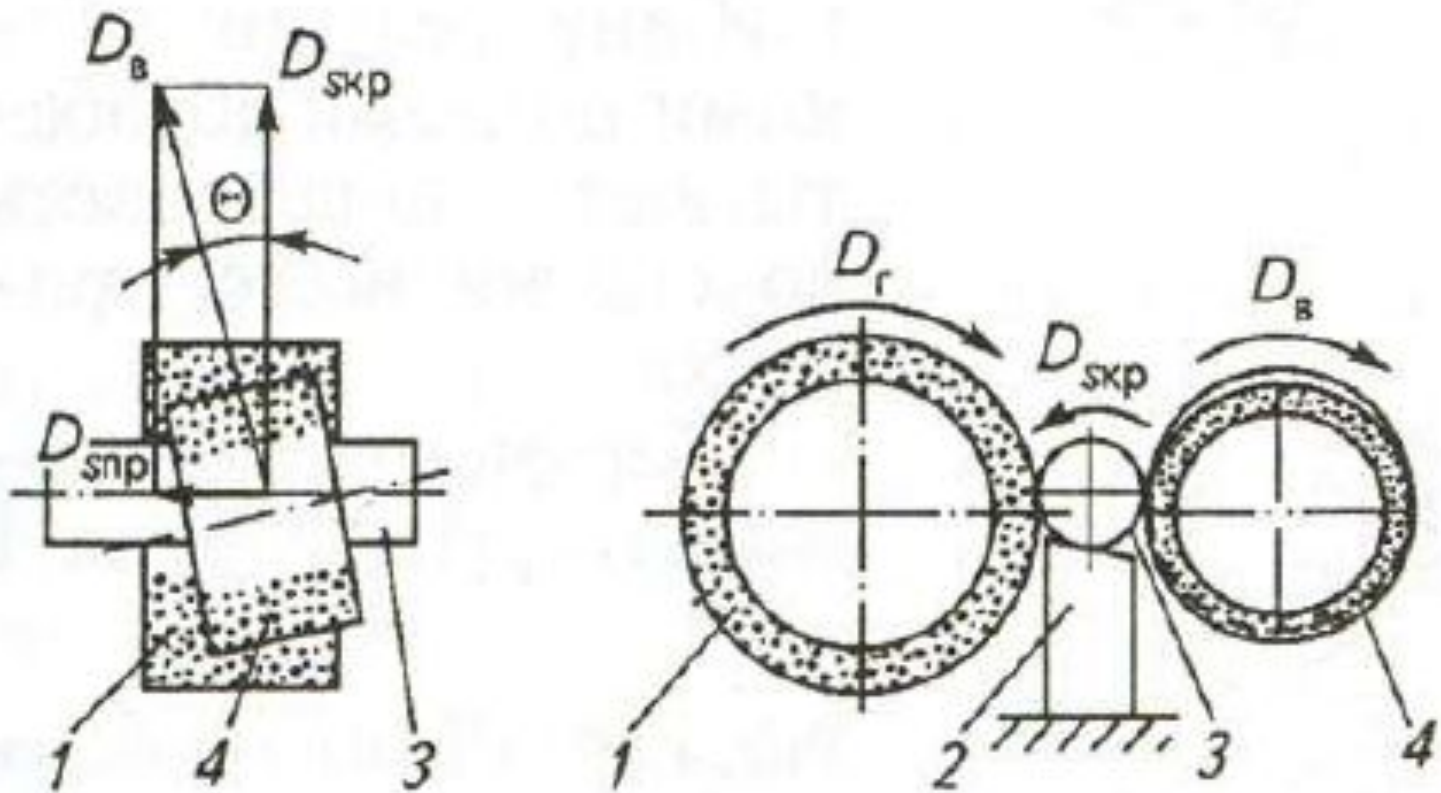


Рис. 3.4. Схемы обработки заготовок на бесцентрово-шлифовальном станке:
 1 – шлифующий круг; 2 – опора; 3 – заготовка; 4 – ведущий круг

Продольная подача рассчитывается как величина перемещения круга параллельно оси заготовки за один оборот заготовки и выражается в миллиметрах на оборот (мм/об), в некоторых случаях определяется скорость движения подачи в метрах в минуту (м/мин).

Поперечная и вертикальная подачи определяются как перемещение круга в поперечном или вертикальном направлении за один ход (мм/х) или двойной ход заготовки (мм/2х).

Окружная скорость вращения заготовки, м/мин, определяется по формуле

$$v_3 = \frac{\pi d_3 n_3}{1000},$$

где d_3 и n_3 – соответственно диаметр и частота вращения заготовки.

В некоторых случаях её называют круговой подачей.

Скорость резания, м/с, рассматривают как окружную скорость периферии круга и определяют по формуле

$$v_{кр} = \frac{\pi D n_{кр}}{60 \cdot 1000},$$

где D и $n_{кр}$ – диаметр и частота вращения шлифовального круга.

Основное время при шлифовании

Для круглого шлифования с продольной подачей основное время определяют по формуле:

$$T_0 = \frac{2Lh}{n_d s_{пр} t} k,$$

где L – длина продольного хода стола (круга), мм; h – припуск на сторону, мм; n_d – частота вращения обрабатываемой детали (заготовки), мин^{-1} ; $s_{пр}$ – продольная подача, мм/об; t – глубина резания, мм, численно равная поперечной подаче, мм/2х; k – поправочный коэффициент точности, учитывающий добавочное число проходов без поперечной подачи (на выхаживание): для черного шлифования $k = 1,2 \dots 1,4$, для чистового $k = 1,25 \dots 1,7$.

Силы и мощность резания при шлифовании

Равнодействующую сил резания при шлифовании раскладывают на три составляющие (рис. 3.5): главную (касательную) P_z , радиальную P_y и осевую P_x .

Для расчета мощности привода используют силу P_z , которую определяют по формуле:

$$P_z = 10 C_p v_3^n s_{пр}^y t^x, \text{ Н,}$$

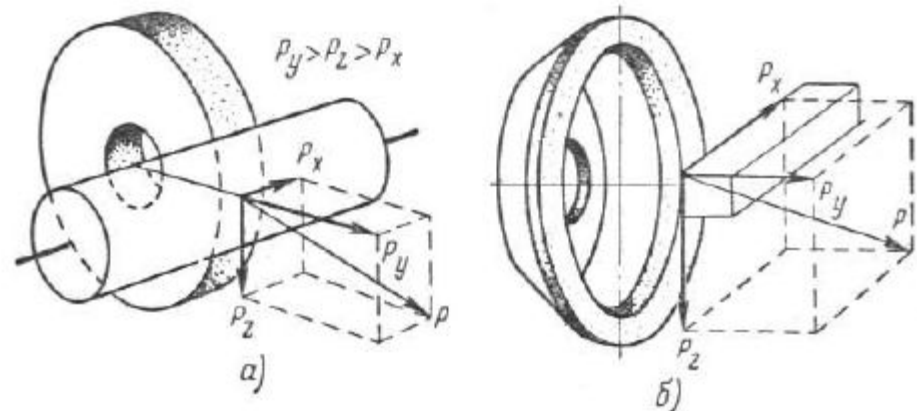
где коэффициент C_p и показатели степени n, y, x зависят от условий шлифования.

Мощность электродвигателей, приводящих во вращение шлифовальный круг и заготовку, рассчитывают по формулам:

$$N_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot v_{\text{кр}}}{1000 \eta_1}, \text{ кВт;}$$

$$N_{\text{заг}} = \frac{P_z \cdot v_{\text{заг}}}{1000 \eta_2}, \text{ кВт;}$$

где η_1 и η_2 – соответственно КПД кинематических цепей передачи вращения шлифовальному кругу и заготовке.



6. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ С ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

Исходные данные:

материал заготовки	сталь 45
предел прочности при растяжении материала	$\sigma_B = 610$ МПа
твёрдость по Роквеллу	35 HRC
длина обрабатываемой поверхности	$\ell = 100$ мм
диаметр детали после обработки	$d = 30$ мм
требуемая шероховатость обработанной поверхности	$Ra = 0,4 \dots 0,5$ мкм
точность обработки - квалитет	7...8
круглошлифовальный станок	3А110В
средняя дневная программа производства	$\Pi = 120$ шт.

1. Определение формы, размеров и характеристики круга

По паспорту круглошлифовального станка 3А110В (табл. 1 приложений) выбираем форму и размеры круга: 250×25.

Характеристику абразивного круга выбираем по таблице 2 приложений в зависимости от способа шлифования, требуемой шероховатости, материала детали и вида детали, учитывая следующее:

а) выбирать круг одной характеристики, т.к. шлифование рекомендуется проводить на одном станке;

б) при шлифовании поверхностей с галтелями твёрдость круга следует увеличивать на одну-две степени.

Таким образом, выбираем характеристику круга – 25А 25 СТ2 К 5.

Окончательная характеристика абразивного круга выявляется в процессе пробной эксплуатации с учётом конкретных технологических условий.



2. Определение припуска на обработку

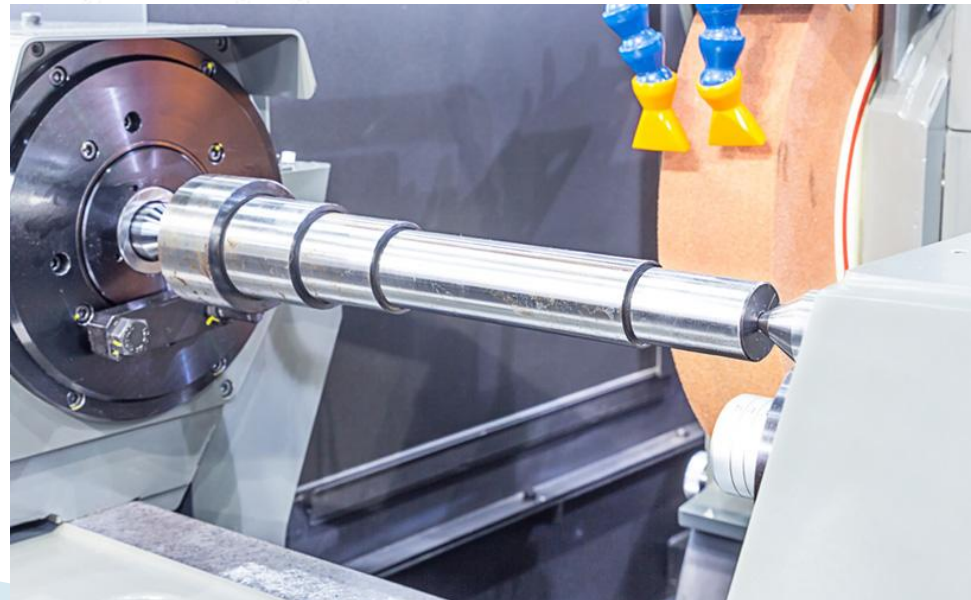
По таблице 3 приложений припуск на диаметр $2h$ равен 0,4 мм. Шлифование осуществляем за два перехода – черновой и чистовой. Тогда:

$$h_1 = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,4}{2} = 0,133 \text{ мм};$$

$$h_2 = \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,4}{2} = 0,067 \text{ мм}.$$

3. Определение глубины резания (поперечной подачи)

На основании рекомендаций (глава 5) принимаем: $s_{\text{поп } 1} = 0,03 \text{ мм/ } 2x$;
 $s_{\text{поп } 2} = 0,02 \text{ мм/ } 2x$.



4. Определение скорости вращения детали

По таблице 4 приложений принимаем частоту вращения детали:

- для чернового шлифования $n_{д1} = 200 \text{ мин}^{-1}$;
- для чистового шлифования $n_{д2} = 300 \text{ мин}^{-1}$.

Скорость вращения детали по формуле (5.2):

$$V_{д1} = \frac{\pi d n_1}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 200}{1000} = 18,84 \text{ м/мин},$$

$$V_{д2} = \frac{\pi d n_2}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 300}{1000} = 28,26 \text{ м/мин}.$$



4. Определение продольной подачи

Определение продольной подачи в долях от ширины круга:

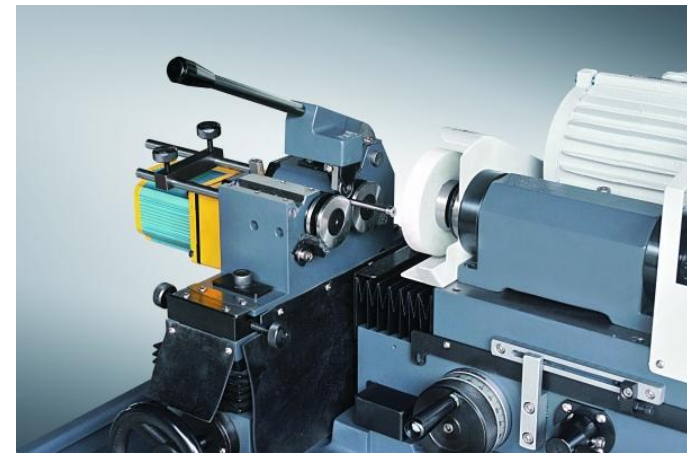
$$s_{\text{пр1}} = 0,5B = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ мм/об},$$

$$s_{\text{пр2}} = 0,3B = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мм/об}.$$

Определим скорость продольной подачи стола станка в м/мин:

$$S_{\text{пр,мин1}} = \frac{s_{\text{пр1}} n_{\text{д1}}}{1000} = \frac{12,5 \cdot 200}{1000} = 2,5 \text{ м/мин};$$

$$S_{\text{пр,мин2}} = \frac{s_{\text{пр2}} n_{\text{д2}}}{1000} = \frac{7,5 \cdot 300}{1000} = 2,25 \text{ м/мин};$$



Так как на станке 3А110В максимальная скорость перемещения стола составляет 2,2 м/мин, необходимо величину $s_{\text{пр.мин1}}$ и $s_{\text{пр.мин2}}$ уменьшить до 2,2 м/мин. Для этого надо снизить частоту вращения детали n_d при условии $s_{\text{пр.мин1}} = s_{\text{пр.мин2}} = 2,2$ м/мин. Тогда:

$$n_{d1} = \frac{s_{\text{пр.мин1}} 1000}{s_{\text{пр1}}} = \frac{2,2 \cdot 1000}{12,5} = 176 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{d2} = \frac{s_{\text{пр.мин2}} 1000}{s_{\text{пр2}}} = \frac{2,2 \cdot 1000}{7,5} = 293 \text{ мин}^{-1};$$

Уточним скорость вращения детали:

$$V_{d1} = \frac{\pi d n_{d1}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 176}{1000} = 16,5 \text{ м/мин},$$

$$V_{d2} = \frac{\pi d n_{d2}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 293}{1000} = 27,6 \text{ м/мин}.$$

6. Определение окружной скорости абразивного круга

Полагаем, что используем новый круг. Тогда из паспорта $n_{кр} = 2680 \text{ мин}^{-1}$ и по формуле (5.3)

$$V_k = \frac{\pi D n_{кр}}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 250 \cdot 2680}{60 \cdot 1000} = 35 \text{ м/с.}$$

7. Проверка выбранного режима резания

7.1. По мощности привода шлифовальной бабки станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p должна быть меньше или равна мощности на шпинделе $N_{шп}$:

$$N_p \leq N_{шп} = N_э \cdot \eta,$$

где $N_э$ – мощность электродвигателя станка, кВт, η – КПД привода шлифовального станка. Для станка 3А110В $N_э = 2,2 \text{ кВт}$, $\eta = 0,8$.

Определяем мощность на шпинделе:

$$N_{шп} = 2,2 \cdot 0,8 = 1,76 \text{ кВт.}$$

Определяем мощность резания для чернового шлифования с поперечной подачей на двойной ход по формуле (5.5):

$$N_{p1} = C_N \cdot v_{д1}^r \cdot t^x \cdot s_{пр1}^y \cdot d^q = 1,3 \cdot 16,5^{0,75} \cdot 0,03^{0,85} \cdot 12,5^{0,7} = 3,1 \text{ кВт},$$

где C_N – постоянный коэффициент, по таблице 5 приложений $C_N = 1,3$; $v_{д1}$ – скорость вращения детали, м/мин, $v_{д1} = 16,5$ м/мин; t – глубина резания, $t = s_{поп} = 0,03$ мм/2ход; $s_{пр}$ – продольная подача, мм/об, $s_{пр} = 12,5$ мм/об; d – диаметр шлифования, $d = 30$ мм. Показатели степени r , x , y и z выбираем по таблице 5 приложений: $r = 0,75$; $x = 0,85$; $y = 0,7$; $q = 0$.

Так как $N_{p1} > N_{штп}$ ($3,1 > 1,76$), необходимо уменьшить продольную подачу $s_{пр1}$ мм/об, взяв за условие $N_{p1} = N_{штп}$, т.е. принимаем $N_{штп} = C_N \cdot v_{д1}^r \cdot t^x \cdot s_{пр1}^y \cdot d^q$.

Тогда

$$s_{пр1} = \sqrt[y]{\frac{N_{штп}}{C_N \cdot v_{д1}^r \cdot s_{поп1}^x \cdot d^q}} = \sqrt[0,7]{\frac{1,76}{1,3 \cdot 16,5^{0,75} \cdot 0,03^{0,85}}} = 5,40 \text{ мм/об};$$

$$s_{пр.мин1} = \frac{s_{пр1} \cdot n_{д1}}{1000} = \frac{5,4 \cdot 176}{1000} = 0,95 \text{ м/мин.}$$

Мощность резания для чистового шлифования:

$$N_{p2} = C_N \cdot v_{d2}^r \cdot t^x \cdot s_{пр2}^y \cdot d^q = 1,3 \cdot 27,6^{0,75} \cdot 0,02^{0,85} \cdot 7,5^{0,7} = 2,3 \text{ кВт.}$$

Так как $N_{p2} > N_{штп}$ ($2,3 > 1,76$), необходимо также уменьшить продольную подачу $s_{пр2}$ мм/об, взяв за условие $N_{p2} = N_{штп}$, т.е. приняв $N_{штп} = C_N \cdot v_{d2}^r \cdot t^x \cdot s_{пр2}^y \cdot d^q$.

Тогда

$$s_{пр2} = \sqrt[y]{\frac{N_{штп}}{C_N v_{d2}^r s_{пр2}^x d^q}} = \sqrt[0,7]{\frac{1,76}{1,3 \cdot 27,6^{0,75} \cdot 0,02^{0,85}}} = 5,10 \text{ мм/об;}$$

$$s_{пр.мин2} = \frac{s_{пр2} n_{д2}}{1000} = \frac{5,1 \cdot 293}{1000} = 1,49 \text{ м/мин.}$$

Проверку выбранного режима по условию бесприжогового шлифования делаем как для черного, так и для чистового шлифования, учитывая условия

$$N_{p1} = N_{p2} = N_{\text{шт}}$$

$$N_{\text{уд.р1}} = N_{\text{уд.р2}} = \frac{N_{\text{шт}}}{B} = \frac{1,76}{25} = 0,070 \text{ кВт/мм.}$$

Так как для черного и чистового шлифования $N_{\text{уд.р}} \leq N_{\text{уд.д}}$ ($0,070 < 0,092$), то условие бесприжогового шлифования выполняется.

9. Определение основного времени

При шлифовании с продольной подачей:

$$T_0 = \frac{2L}{n_{д1} \cdot s_{пр1}} \cdot i_1 + \frac{2L}{n_{д2} \cdot s_{пр2}} \cdot i_2,$$

где L – расчетная длина продольного хода стола, мм.

Считаем, что круг имеет выход в одну сторону, тогда

$$L = l - 0,5B = 100 - 0,5 \cdot 25 = 87,5 \text{ мм.}$$

Число рабочих ходов при шлифовании с продольной подачей определяется по формулам:

$$i_1 = \frac{h_1}{s_{\text{поп1}}} K_1, \quad i_2 = \frac{h_2}{s_{\text{поп2}}} K_2,$$

где K_1, K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий добавочное число рабочих ходов без поперечной подачи (на выхаживание) с целью повышения точности, соответственно для чернового и чистового шлифования; принимаем $K_1 = 1,3$; $K_2 = 1,6$.

Так как число рабочих ходов должно быть только целым числом, округляют его до целого числа. Тогда

$$i_1 = \frac{h_1}{s_{\text{поп1}}} K_1 = \frac{0,133}{0,03} 1,3 = 5,76 \approx 6;$$

$$i_2 = \frac{h_2}{s_{\text{поп2}}} K_2 = \frac{0,067}{0,02} 1,6 = 5,36 \approx 5.$$

$$T_0 = \frac{2L}{n_{\text{д1}} \cdot s_{\text{пр1}}} \cdot i_1 + \frac{2L}{n_{\text{д2}} \cdot s_{\text{пр2}}} \cdot i_2 = \frac{2 \cdot 87,5}{176 \cdot 5,4} \cdot 6 + \frac{2 \cdot 87,5}{293 \cdot 5,1} \cdot 5 = 1,69 \text{ мин.}$$

10. Определение штучного времени

Штучное время равно

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\text{всп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}} = (T_o + T_{\text{всп}}) \cdot \left(1 + \frac{K_1 + K_2}{100}\right),$$

где T_o – основное время, $T_o = 1,69$ мин.; $T_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, мин.

Определяем вспомогательное время на:

- установку и снятие заготовки – $T_{\text{всп1}}$, по табл. 6 $T_{\text{всп1}} = 0,2$ мин,
- действия, связанные с выполнением ходов – $T_{\text{всп2}}$, по табл. 7 $T_{\text{всп2}} = 0,7$ мин,
- действия, связанные с управлением станком – $T_{\text{всп3}}$, по табл. 8 $T_{\text{всп3}} = 1,0$ мин,
- измерение детали – $T_{\text{всп4}}$, по табл. 9 $T_{\text{всп4}} = 0,16$ мин.

Тогда

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{всп1}} + T_{\text{всп2}} + T_{\text{всп3}} + T_{\text{всп4}} = 0,2 + 0,7 + 1,0 + 0,16 = 2,06 \text{ мин.}$$

Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности принимаем в процентах от оперативного времени:

$$T_{\text{обс}} = K_1 \cdot T_{\text{оп}}; \quad T_{\text{отд}} = K_2 \cdot T_{\text{оп.}}$$

Принимаем $K_1 = 4 \%$, $K_2 = 6 \%$.

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_{\text{всп}}) \cdot \left(1 + \frac{K_1 + K_2}{100}\right) = (1,69 + 2,06) \cdot \left(1 + \frac{4 + 6}{100}\right) = 4,125 \text{ мин.}$$

11. Расчет оборудования

Расчетное количество станков z для выполнения операции шлифования рассчитываем по формуле

$$z = \frac{T_{\text{шт}} \Pi}{T_{\text{см}} 60},$$

где $T_{\text{шт}}$ – штучное время, мин; $T_{\text{шт}} = 4,125$ мин; Π – программа выполнения деталей в смену, шт., $\Pi = 120$ шт.; $T_{\text{см}}$ – время работы станка в смену, ч, принимаем $T_{\text{см}} = 8$ ч.

$$z = \frac{T_{\text{шт}} \Pi}{T_{\text{см}} 60} = \frac{4,125 \cdot 120}{8 \cdot 60} = 1,03 \approx 1.$$



12. Техничко-экономическая эффективность

Оценку технико-экономической эффективности операции шлифования проводим по ряду коэффициентов, в числе которых коэффициент основного времени и коэффициент использования станка по мощности.

Коэффициент основного времени

$$K_o = \frac{T_o}{T_{шт}} = \frac{1,69}{4,125} = 0,40.$$

Данное значение коэффициента говорит о том, что при шлифовании относительно много времени отводится на вспомогательные действия, поэтому следует провести организационные или технологические мероприятия по механизации процессов, сокращению вспомогательного времени, совмещению основного и вспомогательного времени и т.д.

Коэффициент использования станка по мощности

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ст} \cdot \eta} = \frac{N_p}{N_{шт}} ..$$

При проверке по мощности привода шлифовальной бабки станка с целью уменьшения продольной подачи было принято $N_p = N_{шт}$.

Тогда $K_N = 1$, т.е. мощность станка используется полностью.