

#### 4.6.4. Особенности физических явлений при зубонарезании. Режимы резания

При зубонарезании скорость резания находится в пределах от 10 до 60 м/мин. в зависимости от модуля нарезаемых колес и характера обработки — черновая или чистовая.

Зуборезные инструменты работают в зоне сравнительно тонких стружек, поэтому зуб изнашивается в основном по задней поверхности и неравномерно. Допустимый износ по задней поверхности у вершины зуба  $h_{z \max} = 0,8 \dots 1,2$  мм для черновой обработки и  $h_{z \max} = 0,1 \dots 0,4$  — для чистовой.

При фрезеровании червячной фрезой скорость  $v$  определяется как при обычном фрезеровании, а подача задается перемещением фрезы в миллиметрах за один оборот заготовки  $S_o$ . Подача на один оборот фрезы  $S_\phi = S_o \frac{K}{z}$  (мм/об), где  $K$  — число заходов червячной фрезы,  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса.

Глубина резания  $t$  при зубофрезеровании равна глубине впадины зубьев нарезаемого колеса.

Скорость резания  $v$  при зубодолблении линейная. Подача  $S_{кр}$  зубодолбления представляет собой длину дуги начальной окружности нарезаемого колеса (долбяка), отнесенную к одному двойному ходу долбяка, она обозначается в мм/дв.ход.

Глубина резания при зубодолблении равна глубине впадины колеса, если нарезание происходит за один проход, или меньше глубины впадины в соответствии с числом проходов.

Для расчетов режимов резания используются рекомендуемые нормативы и эмпирические формулы.

#### 4.7. Шлифование

Шлифование — технологический метод обработки металлов, позволяющий получать на деталях поверхность высокого качества с высокой точностью размеров.

Шлифование выполняется особым видом инструментов шлифовальным кругом. Шлифовальный круг не имеет явно выраженных лезвий и режет абразивными зернами из минералов, имеющих случайную форму и взаимное расположение.

#### 4.7.1. Общие сведения о шлифовании

При шлифовании в резании участвуют одновременно большое число абразивных зерен, каждое из которых срезает небольшой слой металла, после чего на поверхности остается царапина, совокупность этих царапин и образует обработанную шлифованием поверхность.

Шлифование применяется для чистовой обработки деталей и позволяет получить точность размеров до 6...7 квалитетов с шероховатостью  $Ra = 0,08 \dots 0,32$  мкм.

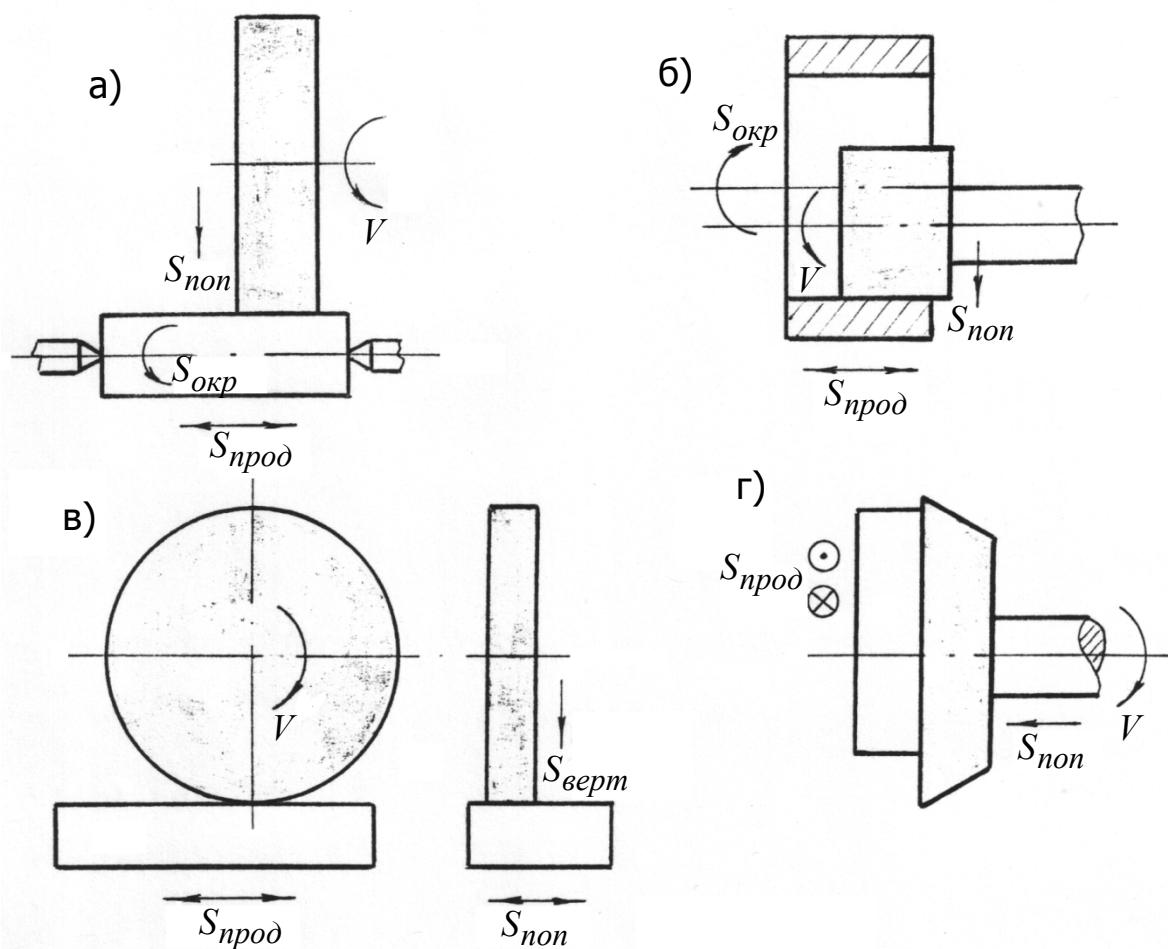
В зависимости от взаимного движения круга и заготовки, а также используемого оборудования существуют разные виды шлифования.

Круглое наружное шлифование (рис. 65, а) осуществляется вращательным движением шлифовального круга со скоростью резания  $V$ . Заготовка вращается с окружной подачей  $S_{окр}$ . Заготовке сообщается также возвратно-поступательное движение вдоль её оси параллельно оси шлифовального круга — продольная подача  $S_{прод}$ . По окончании цикла возвратно-поступательного движения действует прерывистое движение поперечной подачи  $S_{non}$ .

Круглое внутреннее шлифование (рис. 65, б) происходит при вращении круга со скоростью  $V$  и заготовки с окружной подачей  $S_{окр}$  вокруг параллельных осей. Движения продольной  $S_{прод}$  и поперечной подачи  $S_{non}$  происходят так же, как при наружном круглом шлифовании.

Плоское шлифование (рис. 65, в) выполняется шлифовальным кругом, вращающимся со скоростью  $V$ . Заготовке сообщается возвратно-поступательное движение подачи  $S_{прод}$ . В промежутках между возвратно-поступательными движениями заготовки шлифовальному кругу сообщается прерывистое движение поперечной подачи  $S_{non}$ . После обработки всей плоскости шлифовальный круг перемещается вертикально с вертикальной подачей  $S_{верт}$ .

Торцовое шлифование и заточка (рис. 65, г) осуществляется торцом шлифовального круга, вращающегося со скоростью  $V$ . Заготовка совершает возвратно-поступательное движение продольной подачи  $S_{прод}$ , в промежутках между этими движениями заготовке сообщается прерывистое движение поперечной подачи  $S_{non}$ .

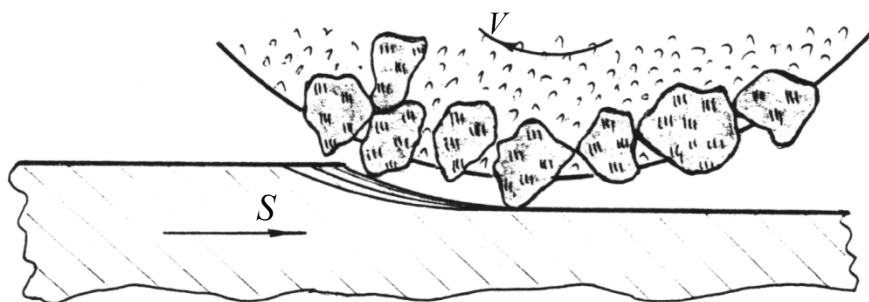


**Рис. 65.** Виды шлифования: круглое наружное (а), внутреннее (б), плоское (в), торцовое, заточка (г)

#### 4.7.2. Шлифовальный круг как режущий инструмент. Абразивные материалы. Связки и твёрдость круга

Шлифовальный круг состоит из множества абразивных зерен, выполняющих роль режущих зубьев, и вещества, соединяющего все абразивные зерна в единую конструкцию, имеющую определённую форму, размеры и прочность. Для нормальной работы шлифовального круга между абразивными зернами и связующим веществом должны оставаться промежутки (поры), представляющие впадины между зубьями, в которых размещается стружка (рис. 66).

От соотношения этих трёх составляющих зависят режущие свойства шлифовальных кругов.

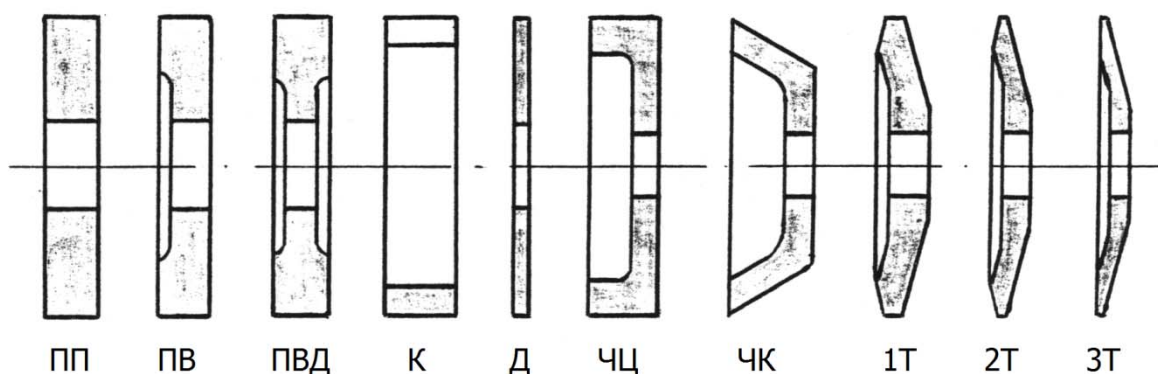


**Рис. 66.** Срезание стружки абразивными зёрнами

Содержание зёрен в объёме круга определяет его структуру: плотную ( $N 0...3$ ), среднюю ( $N 4...8$ ), открытую ( $N 9...12$ ) и очень открытую ( $N 13...20$ ).

Для алмазных и эльборовых кругов характеристикой структуры является концентрация зерен. При 100 %-ой концентрации алмазная или эльборовая составляющая занимает 1/4 объёма рабочего слоя круга, остальной объём — связка, наполнители и поры.

Для выполнения шлифовальных операций используются круги различной формы (рис. 67) и разных размеров.



**Рис. 67.** Формы шлифовальных кругов

В шлифовальных кругах используются обычно абразивные зёрна искусственного изготовления. Они обладают высокой твёрдостью, термо- и износостойкостью наряду с высокой стабильностью их физико-механических характеристик.

В зависимости от химического состава зерна имеют различную окраску, геометрическую форму и физико-механические свойства. Наиболее распространёнными являются следующие абразивные материалы:

<u>Электрокорунд:</u> нормальный белый <u>легированный:</u> хромистый титанистый	12А, 13А, 14А, 15А, 16А 22А, 23А, 24А, 25А  32А, 33А, 34А 37А
Монокорунд	43А, 44А, 45А
Карбид кремния: чёрный зелёный	53С, 54С, 55С 63С, 64С
Алмазы: природные синтетические	А, АМ, АН АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС
Кубический нитрид бора (КНБ, эльбор)	ЛО, ЛП

Основу электрокорундов составляют кристаллы оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). В зависимости от добавок изменяются его свойства и цвет.

Карбид кремния ( $SiC$ ) и карбид бора ( $B_4C$ ) получают спеканием в электропечах кварца и каменного угля или борной кислоты и нефтяного кокса соответственно.

Природные алмазы применяют редко из-за дороговизны. В основном используются синтетические алмазы.

Размеры зёрен абразивных материалов определяются понятием зернистости. По зернистости зерна распределяются на три группы: шлифовальные зерна (200...16 с размерами от 2,5 мм до 0,16 мм); шлифовальные порошки (12...4, размеры 0,16...0,04 мм) и микрпорошки (М40...М5, размеры 40...3 мкм).

Абразивные материалы обладают разной абразивной способностью, которая характеризуется отношением массы снятого материала к массе израсходованного шлифовального материала. Для алмаза она равна 1,0, для электрокорунда — 0,2.

Для придания шлифовальным кругам формы и размеров в их состав входят связующие вещества — связки. Связки бывают неорганические (около 60 % инструментов), органические (около 39 %) и металлические (около 1 %).

Неорганические связки бывают керамические (самые распространённые), обозначаемые К1, К2...К8; и редко используемые магнезиальные и силикатные.

Органические связки подразделяются на бакелитовые (Б1, Б2, Б3), вулканитовые (В1, В2, В3) и глифталиевые.

Шлифовальные круги на керамической связке влаго- и температуроустойчивы, но отличаются хрупкостью.

Органические связки придают кругам прочность и эластичность, но при нагреве выше 200 °С быстро разрушаются.

Металлические связки состоят из алюминиево-медно-цинковых сплавов. Они высокопрочные, но препятствуют самозатачиванию круга. Применяются для алмазных и эльборовых кругов.

Под твёрдостью абразивного инструмента понимается условная величина, характеризующая свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зёрнами и связкой.

По твердости абразивные инструменты делятся на мягкие (М1, М2, М3), среднемягкие (СМ1, СМ2), средние (С1, С2), среднетвёрдые (СТ1, СТ2, СТ3), твёрдые (Т1, Т2), весьма твердые (ВТ1, ВТ2) и чрезвычайно твёрдые (ЧТ1, ЧТ2).

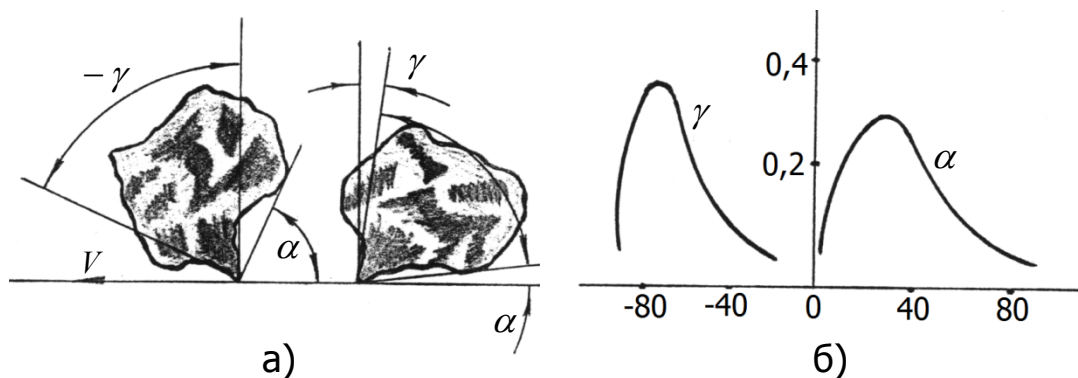
В процессе шлифования абразивные зёрна изнашиваются, возрастают силы резания, которые выламывают изношенные зёрна из режущей поверхности круга. Это приводит к обновлению режущей поверхности: вступают в работу неизношенные зёрна — происходит самозатачивание круга.

Шлифование твёрдых материалов производится мягкими шлифовальными кругами. Чем мягче обрабатываемый материал, тем тверже выбираются круги. Круги с твёрдостью ВТ и ЧТ используют для неточных обдирочных операций (например, очистка литья).

#### **4.7.3. Геометрия абразивных зёрен. Потеря режущей способности шлифовального круга и его правка**

Абразивные зёрна, выполняющие в шлифовальных кругах функции режущих зубьев, имеют неправильную геометрическую форму. Расположение зёрен в массе круга также не упорядочено — каждое зерно может занимать любое случайное пространственное положение. Поэтому геометрические угловые параметры поверхностей на режущих лезвиях абразивных зёрен имеют случайный, вероятностный характер и могут колебаться в широких пределах (рис. 68). Наибольшая частота значений передних углов  $\gamma = -75^\circ$ , задних —  $\alpha = 12^\circ$ .

Характерной особенностью шлифования является большое отрицательное значение передних углов, чем объясняются наклёп и остаточные напряжения сжатия на обработанной поверхности.



**Рис. 68.** Геометрия абразивных зёрен (а). Плотность вероятности значений передний и задних углов (б)

В процессе шлифования образовавшаяся стружка частично удаляется из зоны резания, а частично остается в объёмах пор. Через некоторое время поры на поверхности круга оказываются заполненными обрабатываемым материалом. Это явление называется засаливанием круга, который в этом случае теряет свою режущую способность

Для возвращения шлифовальному кругу режущей способности после засаливания и износа режущих лезвий абразивных зёрен, а также для придания кругам заданной формы, производится их правка. Предварительную правку осуществляют металлическими звёздочками или монокристаллическими твёрдосплавными дисками. Чистовую правку выполняют обкатыванием фасонными роликами, выполненными из твёрдого сплава или алмазных материалов. Наиболее качественно правка шлифовальных кругов выполняется алмазными карандашами.

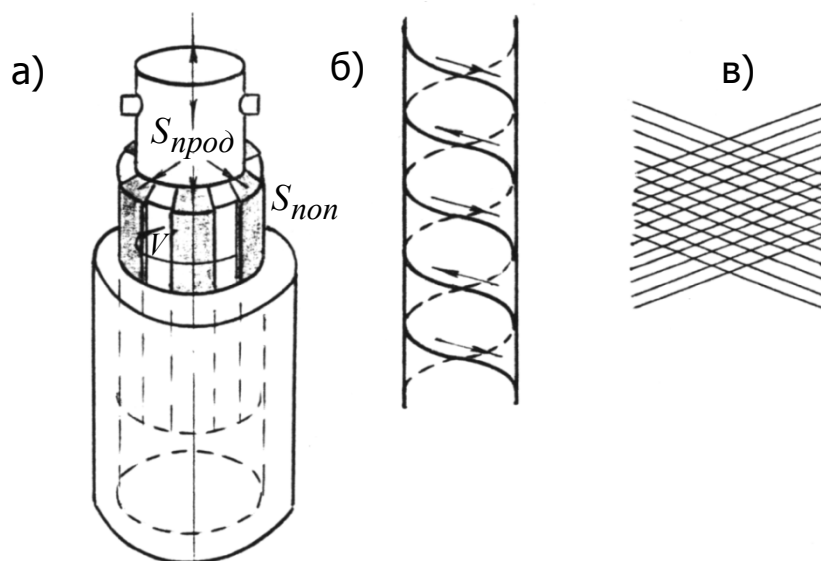
#### **4.7.4. Разные методы абразивной обработки (полирование, доводка и др.)**

Помимо наиболее распространённого метода абразивной обработки — шлифования, существуют и другие методы чистовой обработки, а именно:

- хонингование;
- суперфиниширование;
- полирование;
- доводка.

Хонингование — процесс чистовой обработки обычно цилиндрических отверстий, выполняемой многолезвийными инструмента-

ми из абразивных материалов (брусками) (рис. 69, а). При этом между инструментом и обрабатываемой поверхностью обеспечивается постоянное трение и одновременно изменяется направление продольного движения (рис. 69, б). Поверхность характеризуется параллельными, перекрещивающимися рисками (рис. 69, в). Хонингование выполняется инструментом, называемым хонем на специальных хонинговальных станках. Точность хонингования 2...5 качества, шероховатость  $R_z = 0,3$  мкм.



**Рис. 69.** Хонингование: кинематика (а), изменение направления продольного движения (б), сетка следов (в)

Суперфиниширование — метод точной обработки резанием обычно наружных цилиндрических поверхностей, используемый для улучшения качества поверхности и её круглости (рис. 70, а). Процесс осуществляется на специальных суперфинишных станках и позволяет получить качество обработки такое же, как и при хонинговании.

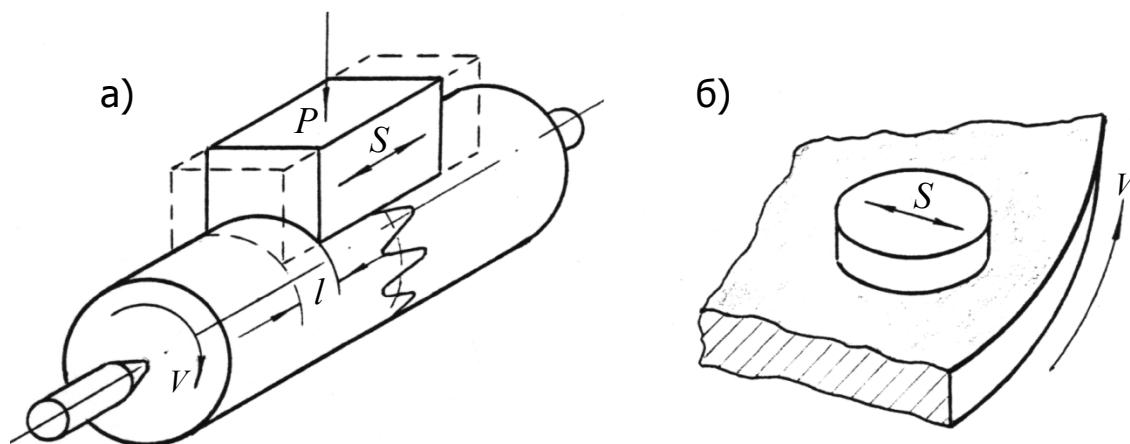
Доводка и полирование поверхности происходит в результате взаимного перемещения детали и инструмента с помощью специальных нанесённых на поверхность детали или инструмента абразивных паст и при постоянном изменении направления относительного движения (рис. 70, б).

Рабочее движение абразивного зерна заключается в перекатывании между инструментом и поверхностью детали.

Доводкой обрабатываются плоскости, наружные и внутренние цилиндрические поверхности. В качестве инструментов используются притиры. Для обработки применяются доводочные станки, обеспечивающие необходимые движения заготовки и инструмента, а



также соответствующие усилия при обработке. Точность обработки доводкой 1,0 мкм и шероховатость  $R_z = 0,2$  мкм.



**Рис. 70.** Суперфиниширование (а). Доводка и полирование (б)

В полировании различают два основных способа: первый предназначен для получения поверхностей с минимальной высотой микронеровностей, второй должен обеспечить не только минимальную высоту микронеровностей, но и плоскостность или параллельность поверхностей. В первом случае в качестве инструментов используются войлок, синтетические материалы, фольга, насыщаемые полировальной пастой, во втором — полировальные круги из меди или сплава с сурьмой также насыщаемые полировальной пастой.

Точность обработки в этом случае: плоскострость — 0,15 мкм, шероховатость —  $R_z = 0,2$  мкм, плоскопараллельность — 0,2 мкм.

#### **4.7.5. Особенности физических явлений при шлифовании. Режимы резания**

Процесс шлифования значительно отличается от обработки лезвийным инструментом и имеет свои особенности; основные из них:

- многопроходность, что способствует исправлению формы и размеров детали;
- резание большим количеством абразивных зёрен, различных по форме (изометричные, промежуточные, пластинчатые, игольчатые), геометрии, ориентированию, глубине залегания; на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности круга, в зависимости от рассматриваемого уровня залегания (5...50 мкм), располагается 2...12 зёрен;

- съём стружки и контактные явления происходят при особых геометрических параметрах лезвий (зёрен), характеризующихся отрицательными передними углами ( $\gamma_{cp} = -45...55^\circ$ ), углами при вершине ( $\beta_{cp} = 92...115$ ), радиусами округления режущей кромки ( $\rho_{cp} = 5...25$  мкм);
- способность абразивных зёрен снимать небольшие по толщине стружки (до десятых долей микрометра); объём стружки, снимаемый единичным зерном, может быть в несколько сотен тысяч раз меньше, чем, к примеру, одним зубом фрезы;
- лишь 8...12 % абразивных зёрен, расположенных на поверхности шлифовального круга являются активными, т. е. участвуют в съёме стружки и процессах упруго-пластической деформации;
- способность зёрен к самозатачиванию, в результате их выкрашивания и появлению новых режущих кромок;
- обработка при высоких скоростях резания (30...70 м/с);
- высокие контактные температуры в зоне резания (до 1000...1500°C).

Скорость шлифования (м/с) определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \times 60},$$

где  $D$  — диаметр шлифовального круга, мм;  $n$  — частота вращения шлифовального круга, об/мин.

Производительность шлифования пропорциональна диаметру круга, поэтому критерием выбора скорости служит прочность круга, критической скоростью для которого является обычно скорость 30 м/сек. Высокоскоростное шлифование — при  $V > 30$  м/с допустимо при использовании специальных кругов на металлических связках или армированных. Поскольку используется максимально возможная скорость шлифования, шлифовальные станки имеют одну, в крайнем случае, — две частоты вращения круга.

Режимы резания при шлифовании определяются по традиционной методике, с использованием эмпирических формул и практических рекомендаций по выбору разных параметров.

Достаточно сложной задачей является выбор характеристики шлифовального круга.

Для выбора оптимального варианта существуют рекомендации, содержащиеся в справочной литературе.