

# Резание материалов и режущий инструмент

---

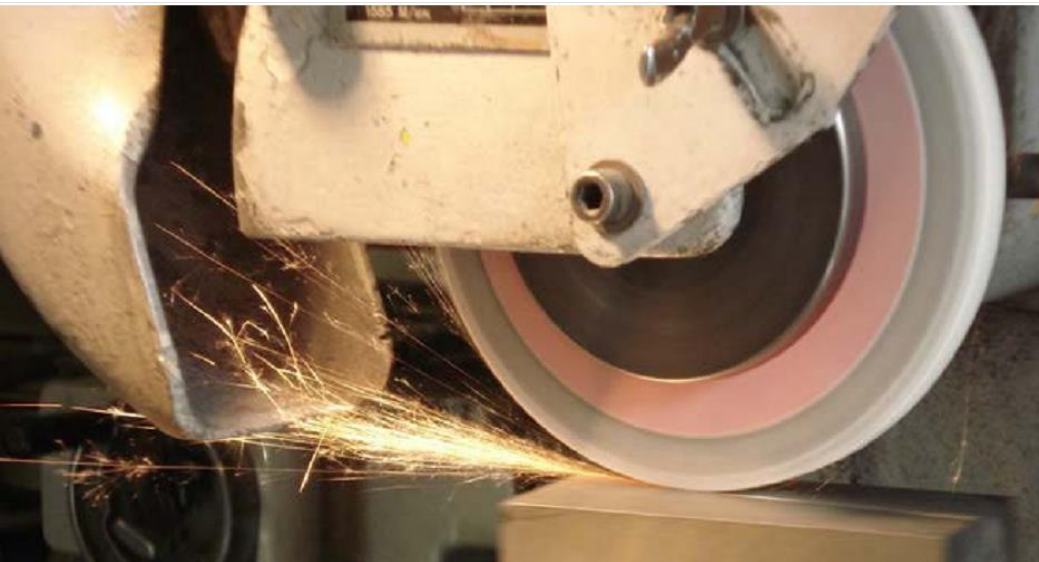
Старший преподаватель  
каф. ТАМП ИК  
НИ ТПУ

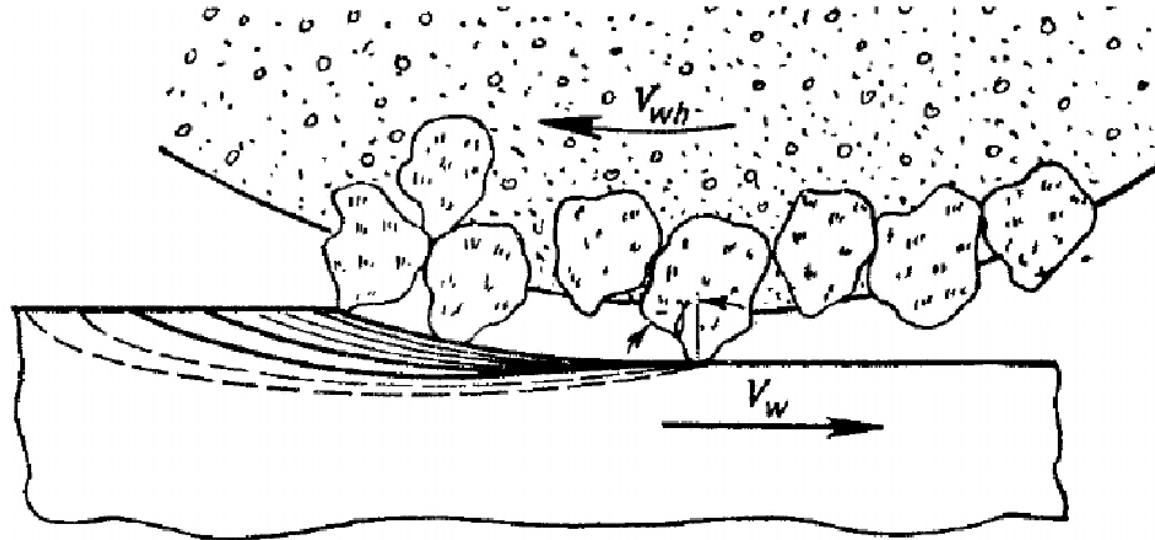
**Ким  
Алексей  
Богович**

# Лекция №5

---

## Шлифование

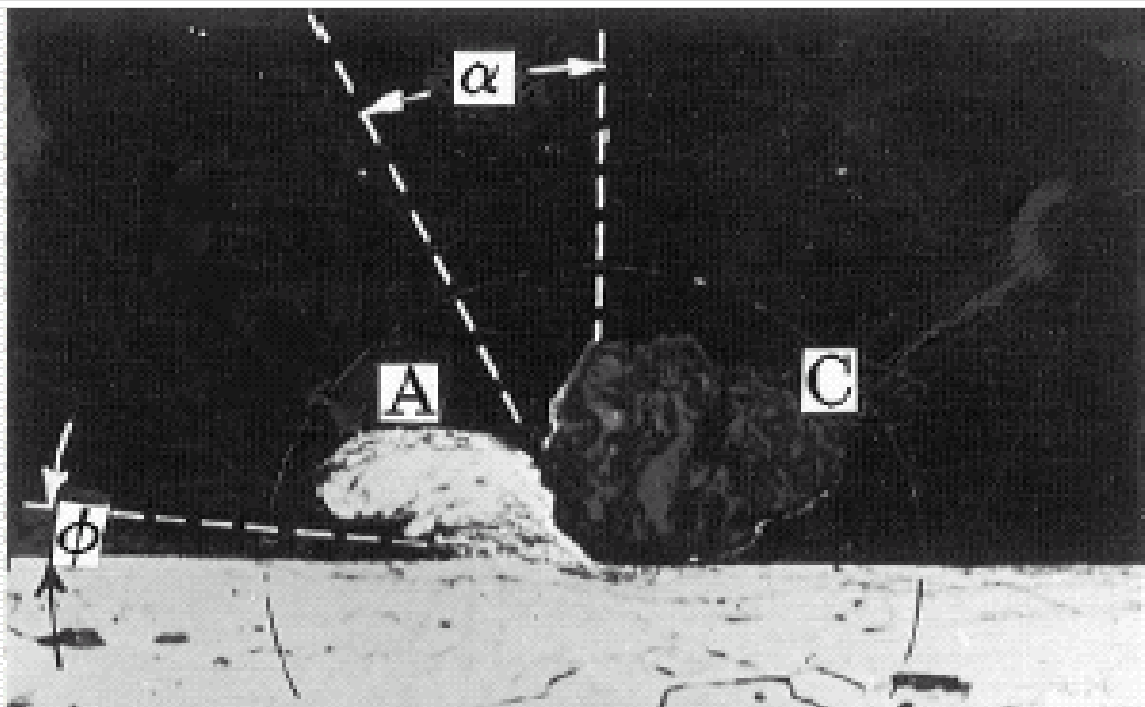
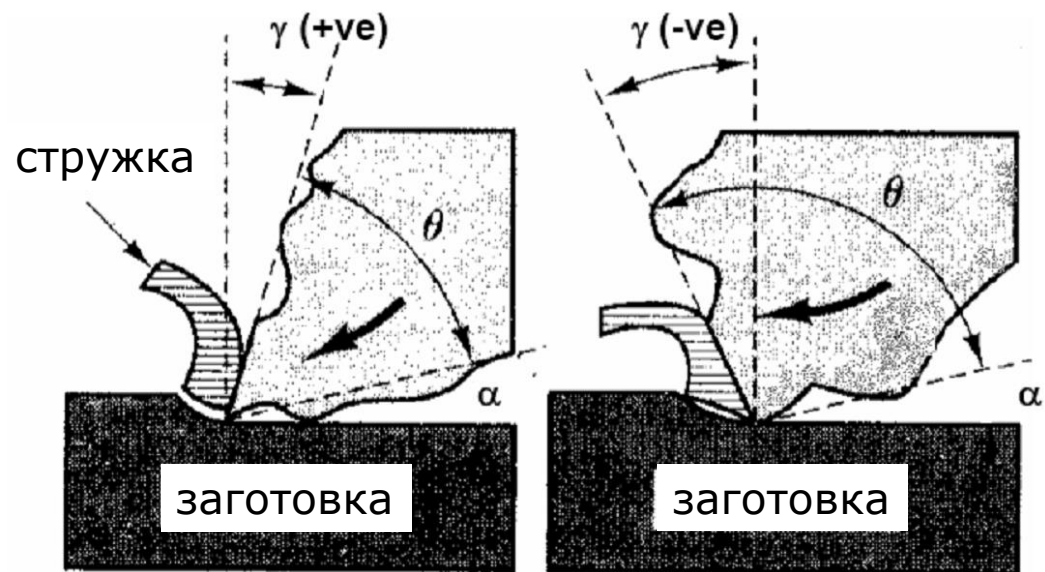




## Шлифование

для выполнения чистовых операций

вместо лезвийных инструментов на обдирочных операциях для снятия больших припусков



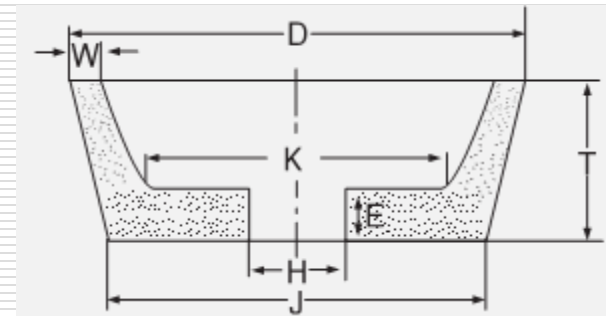


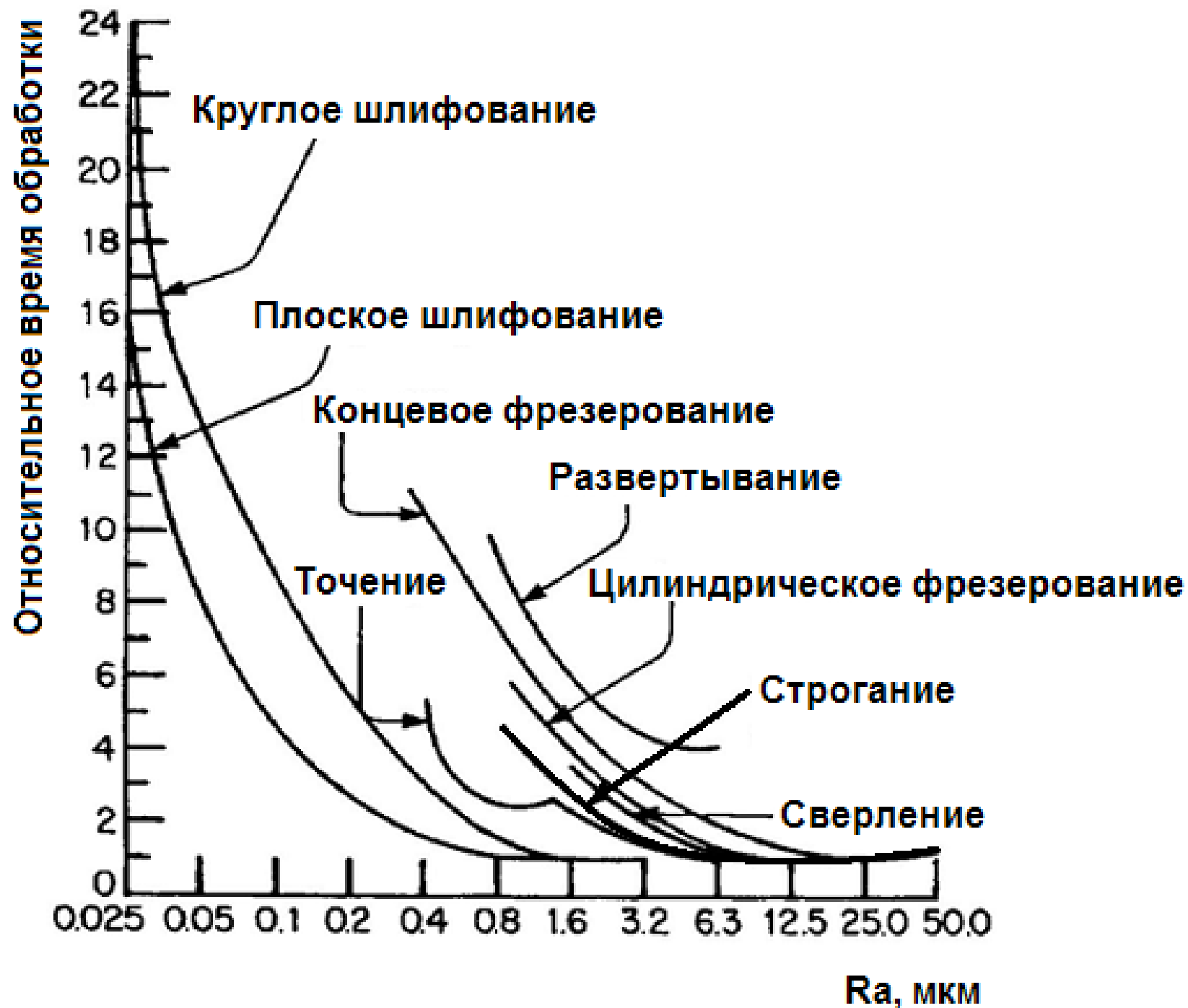
В отличие от лезвийной обработки :

- 1) шлифовальный круг имеет прерывистую режущую кромку;
- 2) зерна имеют произвольное расположение;
- 3) шлифовальный круг самозатачивается (притупленные зерна скалываются, выкрашиваются);
- 4) из-за малой толщины срезаемого слоя и радиуса скругления вершины зерна в начальный момент происходит не резание, а скобление поверхности детали с выделением высокой температуры.
- 5) снятие стружки происходит за короткий промежуток времени.

## Достоинства:

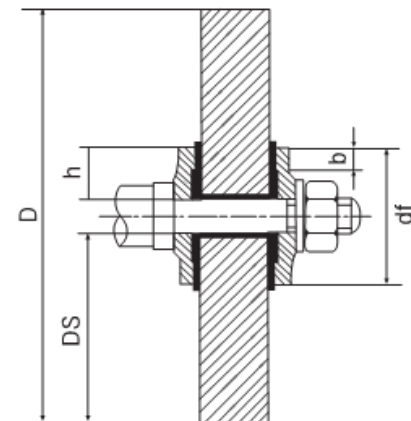
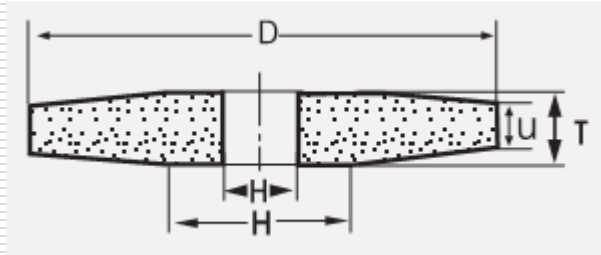
- высокая производительность;
- очень большая суммарная активная длина режущих кромок зерен;
- высокая скорость резания ( $V > 30 \dots 60$  м/с)
- минимальная шероховатость и высокая точность;
- обработка различных материалов, в том числе материалов, неподдающихся обработке лезвийными инструментами.





## Недостатки:

- высокий уровень затрачиваемой энергии (в  $\sim 10$  раз больший, чем при лезвийной обработке);
- высокая мгновенная температура ( $1000 \dots 1600^\circ\text{C}$ )  $\rightarrow$  прижоги обработанной поверхности, тепловые деформации детали;
- шаржирование обработанной поверхности частью выкрошившихся зерен.

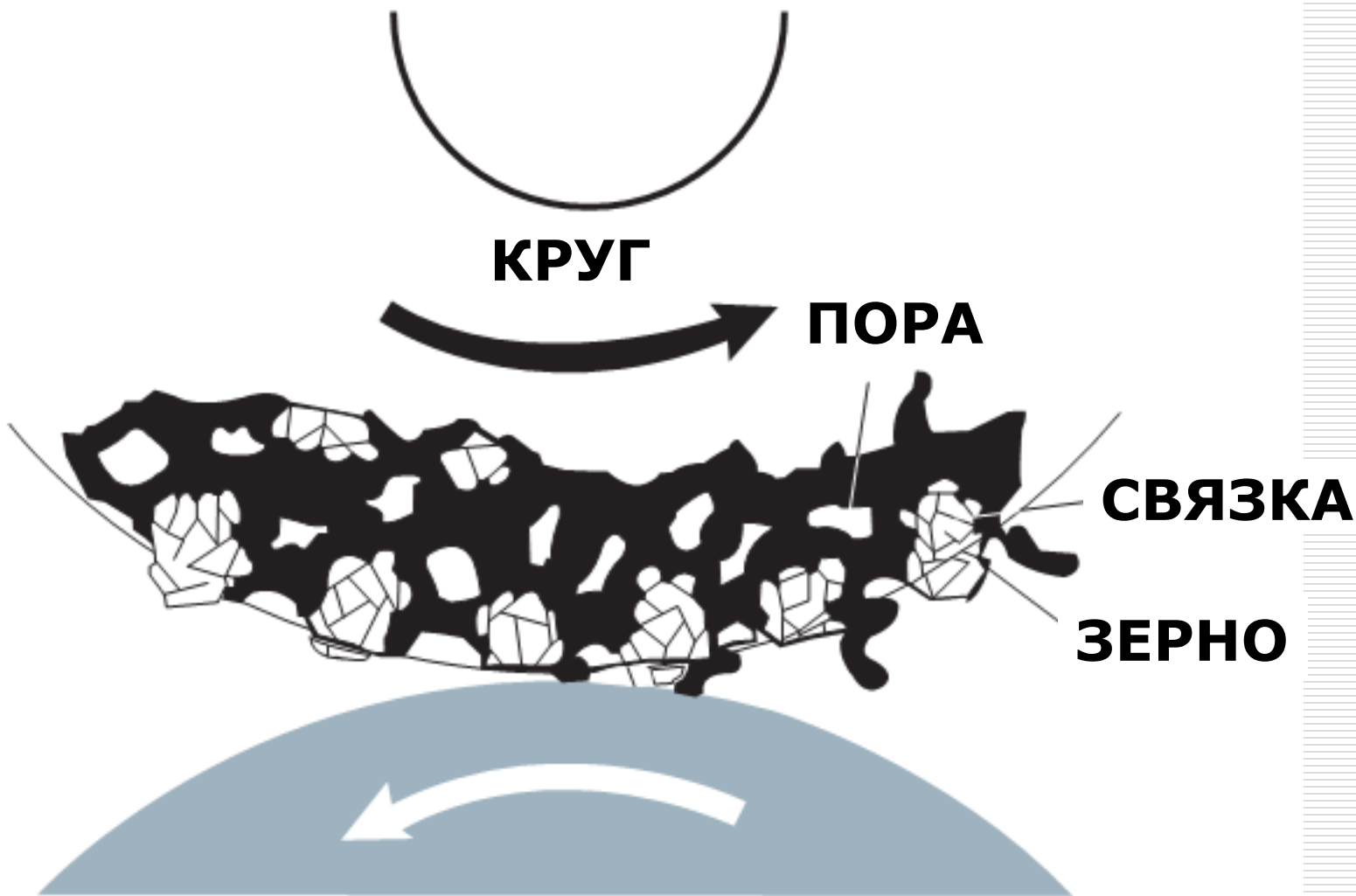




## Характеристики шлифовальных инструментов:

- материал зерен;
  - размеры режущих зерен ;
  - материал связки ;
  - структура ;
  - твердость ;
  - концентрация зерен (алмаз и эльбор);
- +** указывают допускаемую рабочую окружную скорость абразивного круга.





**ЗАГОТОВКА**

## **Абразивы:**

- **электрокорунды**
- **карбиды кремния**
- **алмазы**
- **кубический нитрид бора**



## **ЭЛЕКТРОКОРУНД (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

- **нормальный электрокорунд 12А...16А;**
- **белый электрокорунд 22А...25А;**
- **хромистый электрокорунд 33А, 34А**
- **монокорунд 43А, 44А.**

**выше номер -  
меньше примесей,  
выше физические и  
режущие свойства**

**нормальный - получистовое и чистовое шлифование,  
заточка, доводка стальных (незакаленных) и цветных  
металлов;**

**белый - шлифование закаленных сталей;**

**монокорунд - шлифование закаленных,  
цементированных и азотированных сталей.**

**Теплостойкость 1700...1800°C**



## **КАРБИД КРЕМНИЯ (SiC)**

- **черный (КЧ) 53С...55С;**
- **зеленый (КЗ) 63С, 64С.**

**Карбид кремния зеленый меньше примесей - более высокая режущая способность; применяется при заточке твердосплавных инструментов.**

**Карбид кремния черный используют для шлифования чугуна, меди, латуни, бронзы и алюминия.**

**Теплостойкость 1300...1400°C**



# АЛМАЗ

- природный А1...А8;
- синтетический АС2...АС20.

**Финишная обработка, заточка инструмента.**

**Теплостойкость 600...800°C**



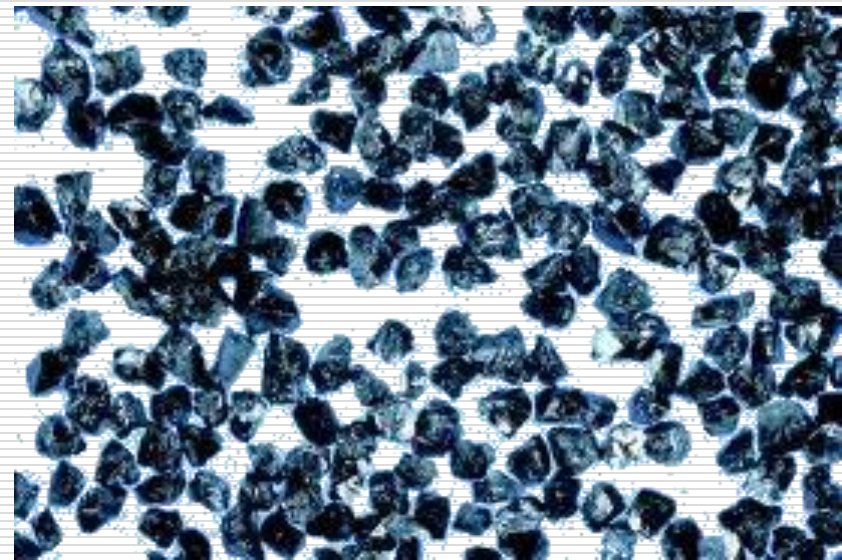


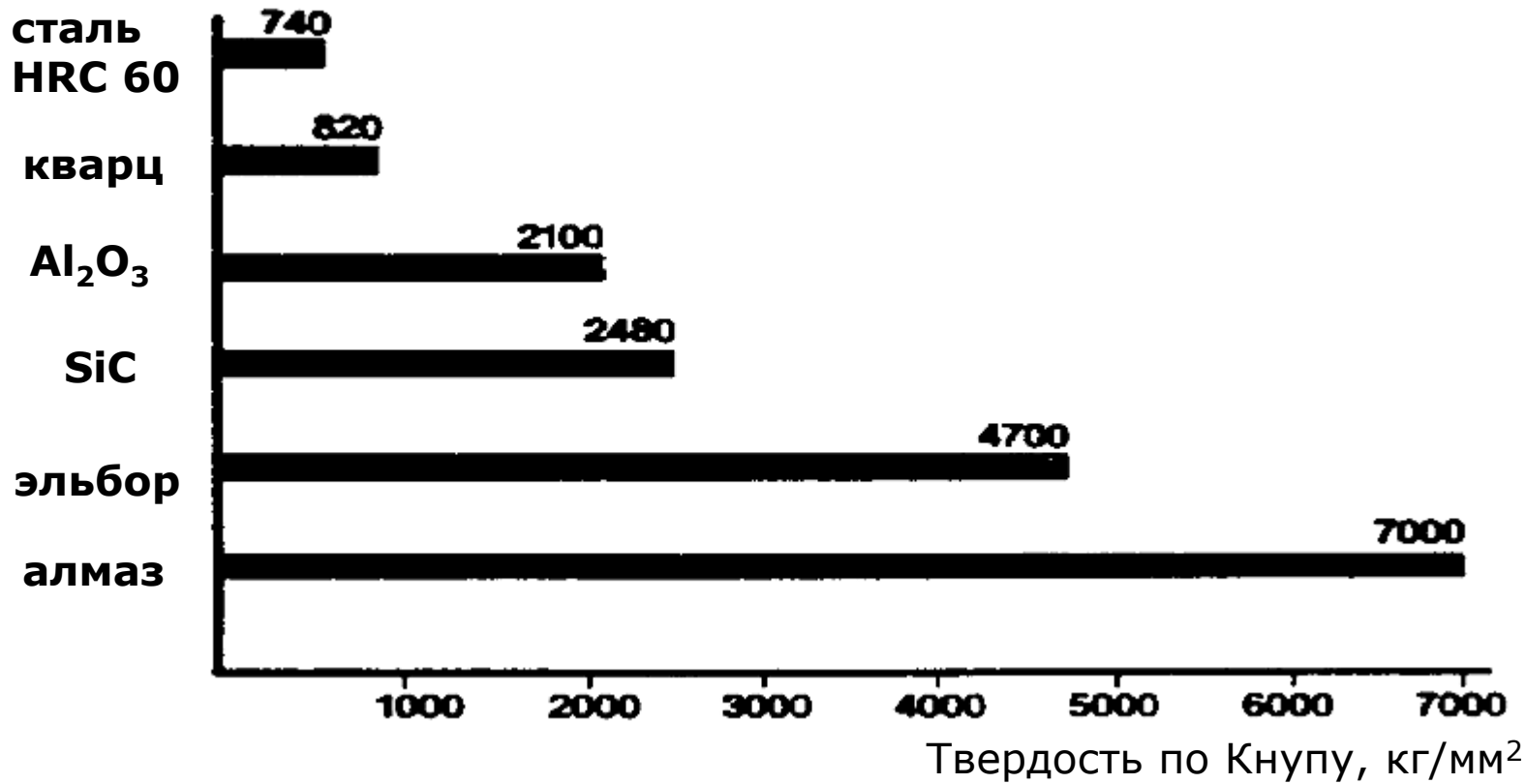
# **КУБИЧЕСКИЙ НИТРИД БОРА (КНБ, ЭЛЬБОР, БОРАЗОН, БЕЛЬБОР)**

**В отличие от алмаза эльбор нейтрален к железу, не вступает с ним в химическое взаимодействие.**

**Для обработки железосодержащих высокопрочных и легированных сталей.**

**Теплостойкость до 1300°C**







# **Зернистость**

**200 - 4**

**200** размеры фракции зерен от 2,0 до 2,5 мм  
**4** – от 0,04 до 0,05 мм.

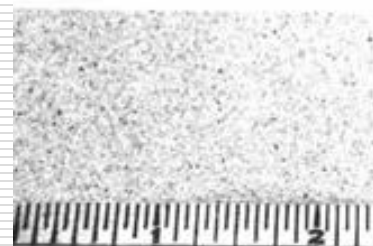
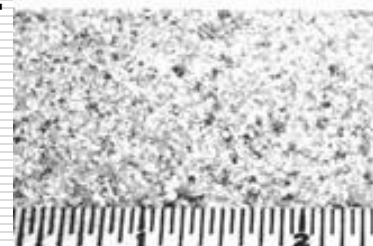
**Пределы изменения размеров зерен соответствуют размерам ячеек сит, прохождением через которые производят сортировку зерен по зернистости.**

**6 - 1000**

**6** – крупнозернистый

**1000** – мелкозернистый

**Количество отверстий сита на 1 кв. дюйм.**



# Ориентировочное соответствие зернистостей по ГОСТ Р 52381-2005 и ГОСТ 3647-80

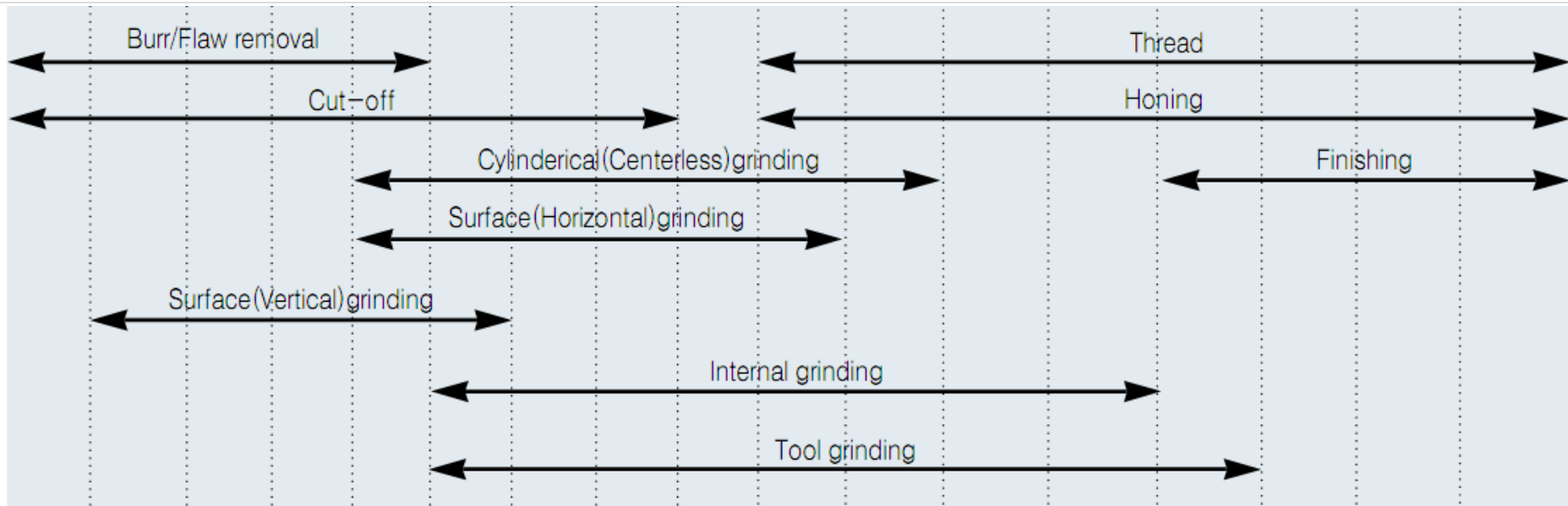
<i>Обозначение зернистостей</i>	
<i>ГОСТ Р 52381</i>	<i>ГОСТ 3647</i>
<i>F4</i>	—
<i>F5</i>	
<i>F6</i>	
<i>F7</i>	
<i>F8</i>	
<i>F10</i>	200
<i>F12, P12</i>	160
<i>F14</i>	—
<i>F16, P16</i>	125
<i>F20, P20</i>	100
<i>F22</i>	—
<i>F24, P24</i>	80
<i>F30, P30</i>	63
<i>F36, P36</i>	50
<i>F40, P40</i>	—
<i>F46</i>	40
<i>F54, P50</i>	32
<i>F60, P60</i>	25
<i>F70</i>	20
<i>F80, P80</i>	—
<i>F90, P100</i>	16
<i>F100, P120</i>	12
<i>F120, P150</i>	10
<i>F150, P180</i>	8
<i>F180, P220</i>	6
<i>F220</i>	5

**P** – для инструмента на гибкой основе

**крупнозернистый**

**абразив**

**мелкозернистый**



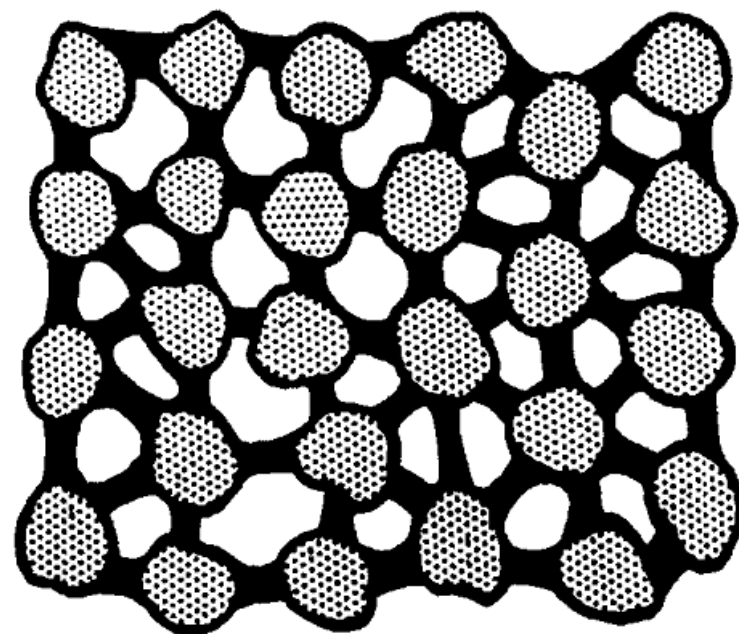
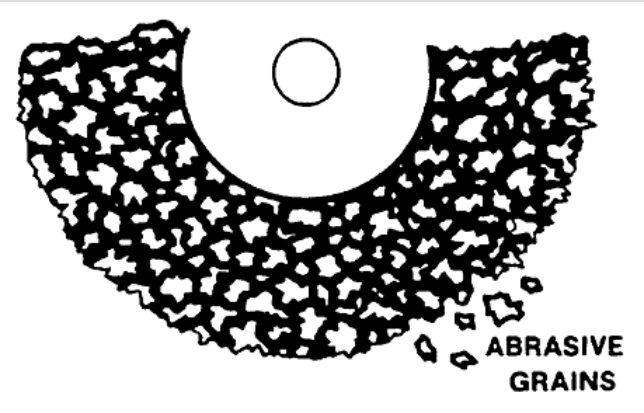
**СВЯЗКА**



**органическая**

**Неорганическая**

**до 90%**



## **КЕРАМИЧЕСКИЕ СВЯЗКИ (К)**

- **высокая влагостойкость**
  - **термостойкость**
  - **химическая стойкость**
  - **хорошо сохраняют форму круга**
- 
- **достаточно хрупкие**  
**не допускаются к работе с ударами**  
**(отрезка и прорезка узких пазов)**



# **МАГНЕЗИАЛЬНАЯ СВЯЗКА (М)** **СИЛИКАТНАЯ СВЯЗКА (С)**

**редко применяются**

- **низкая прочность**
- **гигроскопичность**

**Для сухого шлифования**



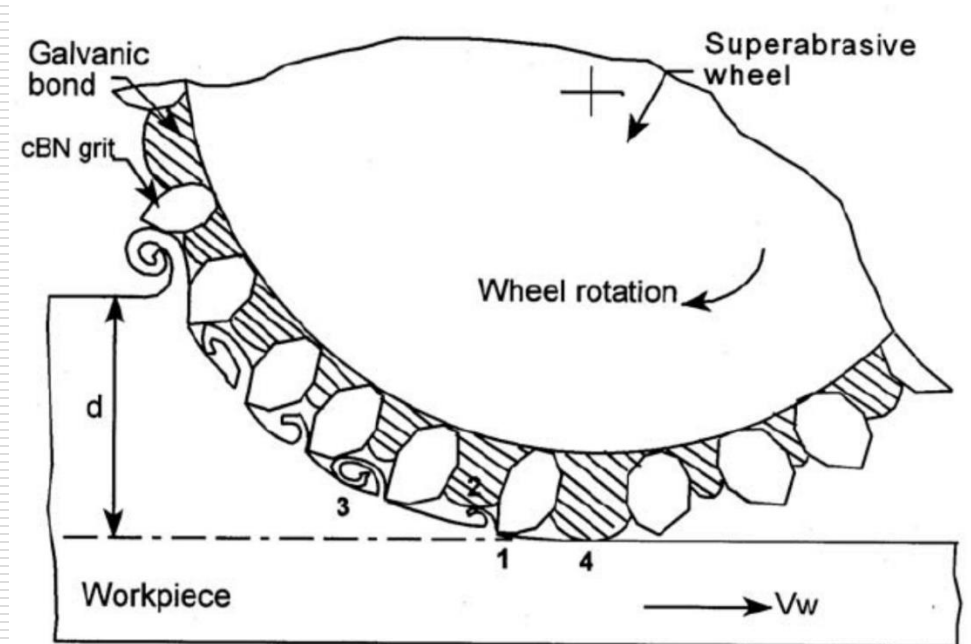
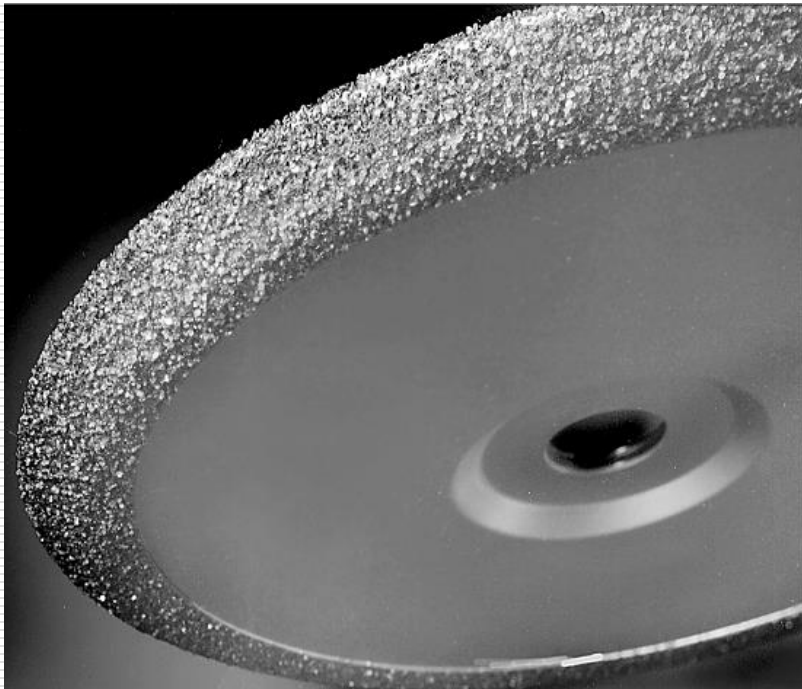
## ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЯЗКИ

- бакелитовая (на основе бакелитовой смолы) (Б)
  - вулканитовая (на основе каучука) (В)
  - глифталевая (Гф)
  - эпоксидная (Э)
- 
- более высокая прочность и эластичность
  - устойчивы к переменным нагрузкам

**Круги на органических связках работают на больших скоростях и могут иметь малую толщину (до 0,18 мм)**



**В алмазных и эльборовых кругах также применяют металлические связки, получаемые спеканием порошков из медных и алюминиевых сплавов, или связки на никелевой основе, получаемые методом гальванического закрепления зерен на металлическом корпусе.**





# ТВЕРДОСТЬ

**условная величина, характеризующая способность связки удерживать зерна в круге при их затуплении.**

**Стандартами установлено 12 степеней твердости, которые изменяются от мягкой до среднетвердой и чрезвычайно твердой.**

Весьма мягкие	— ВМ1; ВМ2
Мягкие	— М1; М2; М3
Среднемягкие	— СМ1; СМ2
Средние	— С1; С2
Среднетвердые	— СТ1; СТ2; СТ3
Твердые	— Т1; Т2
Весьма твердые	— ВТ
Чрезвычайно твердые	— ЧТ

Твердость	Объем пор, %	Твердость	Объем пор, %
BM1, BM2 (F, G)	50-48	CT1, CT2 (O-Q)	36-33
M1-M3 (H-J)	46,5-43,5	T1, T2 (R, S)	31,5-30
CM1, CM2 (K, L)	42-40,5	BT1, BT2 (T, U)	28,5-27
C1, C2 (M, N)	39-37,5	CT1-CT10 (V-Z)	25,5-24

Весьма мягкие

Мягкие

Среднемягкие

Средние

Среднетвердые

Твердые

Весьма твердые

Чрезвычайно твердые

— BM1; BM2

— M1; M2; M3

— CM1; CM2

— C1; C2

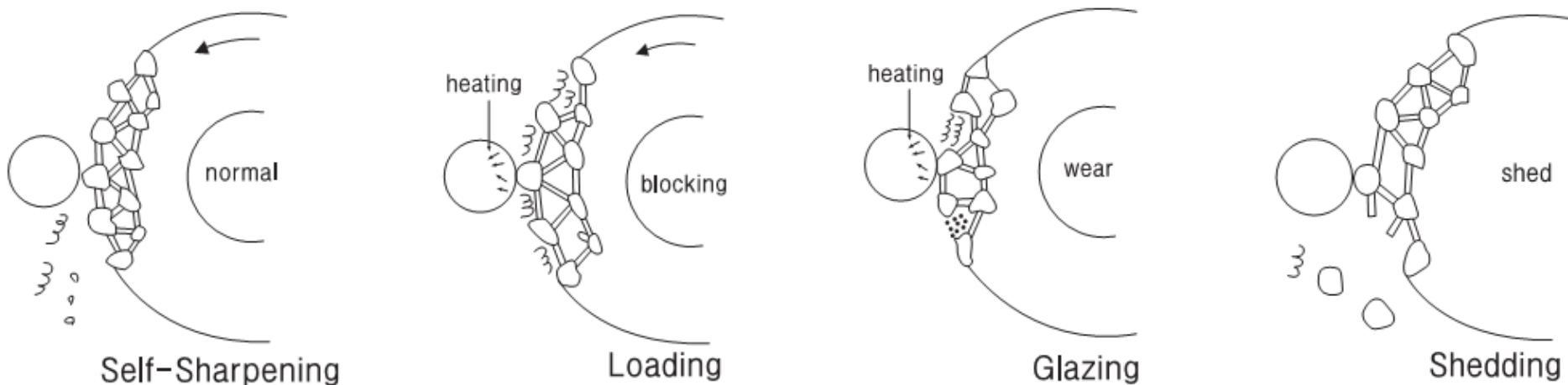
— CT1; CT2; CT3

— T1; T2

— BT

— CT

Мягкий круг		Твердый круг
Твердый, хрупкий, весьма мягкий	Материал заготовки	Мягкий, вязкий
Большая	Площадь контакта	Малая
Большая	глубина резания, скорость подачи	Малая
Высокая	Скорость круга	Низкая
Низкая	Скорость детали	Высокая
Высокая	Точность станка	Низкая
Квалифицированный	Оператор	Неквалифицированный



# СТРУКТУРА КРУГА

13 номеров структуры

соотношение объемов зерен, связки и пор в единице объема круга

открытая (№ 9...12)

№12 38% зерен по объему

среднеплотная (№ 5...8)

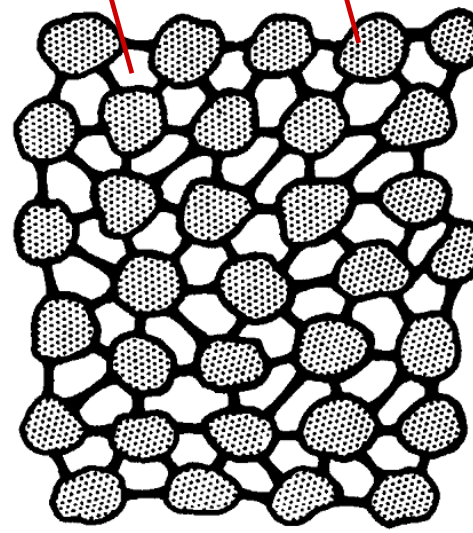
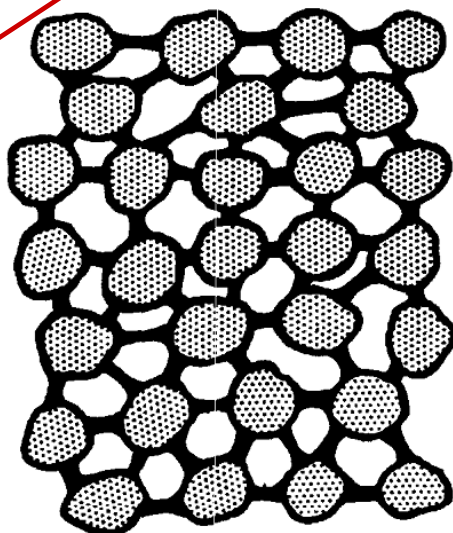
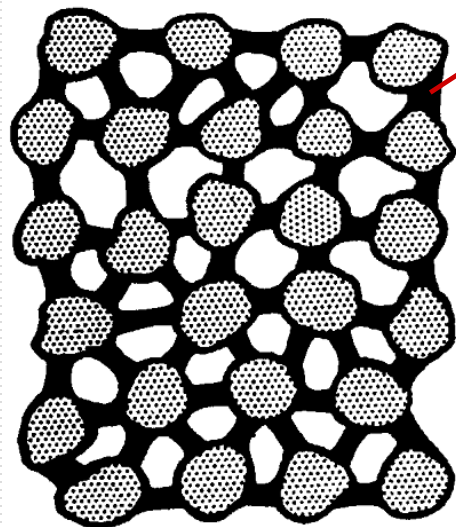
плотная (№ 0...4)

№1 60% зерен по объему

связка

пора

зерно



# КОНЦЕНТРАЦИЯ ЗЕРЕН

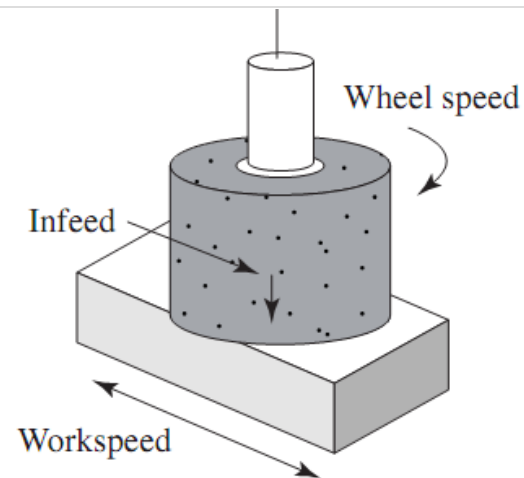
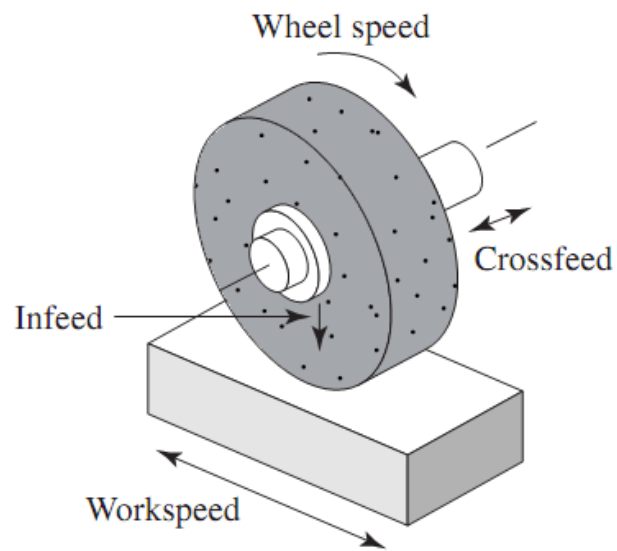
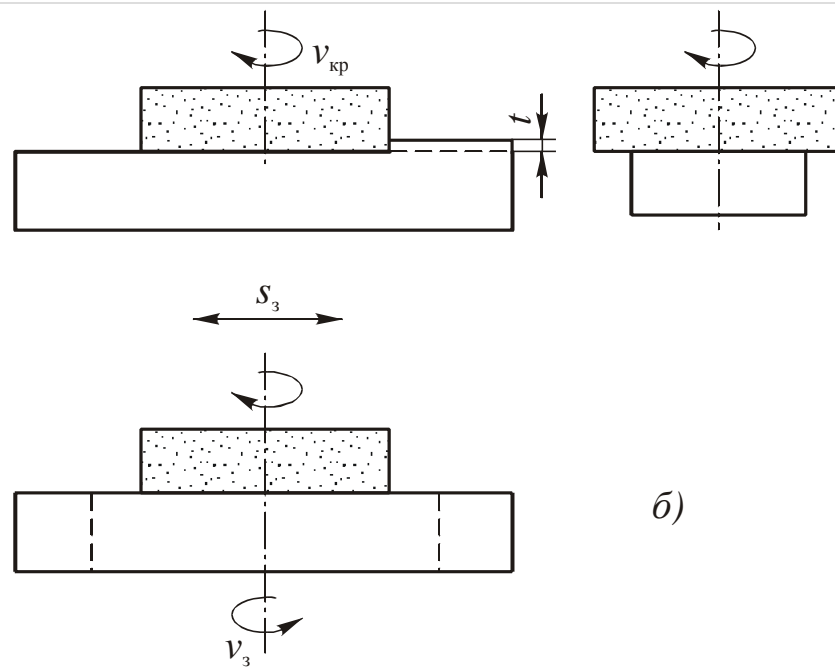
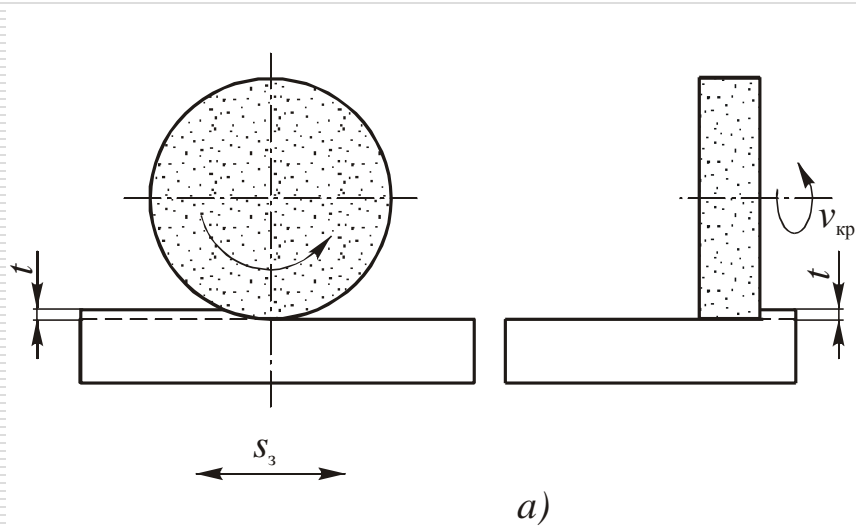
Алмазные и эльборовые круги

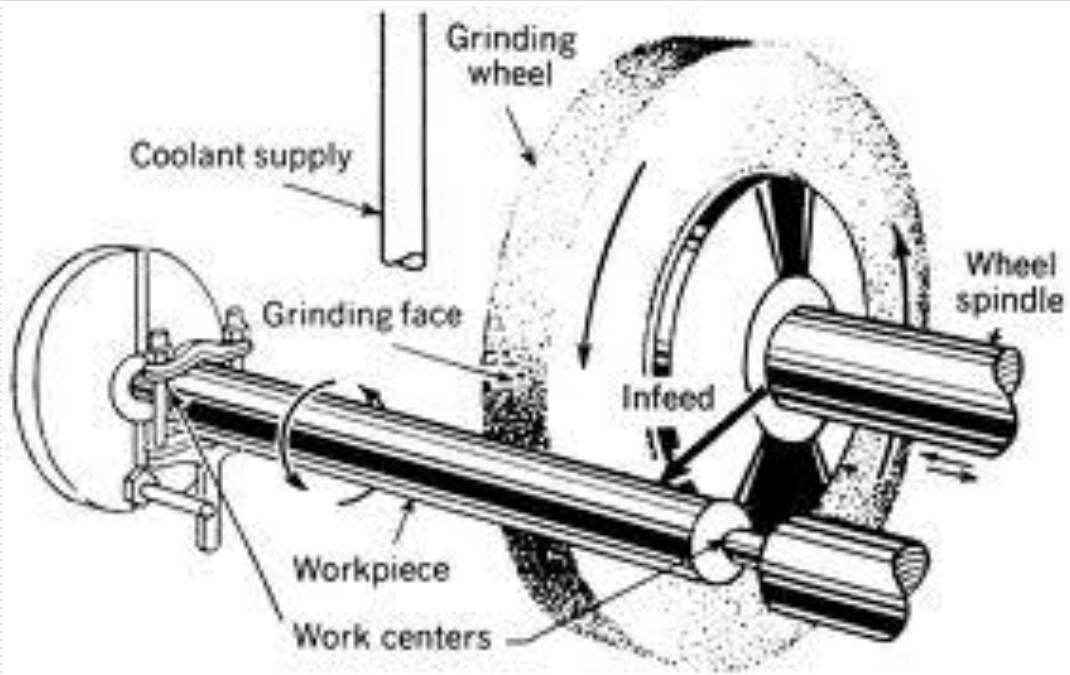
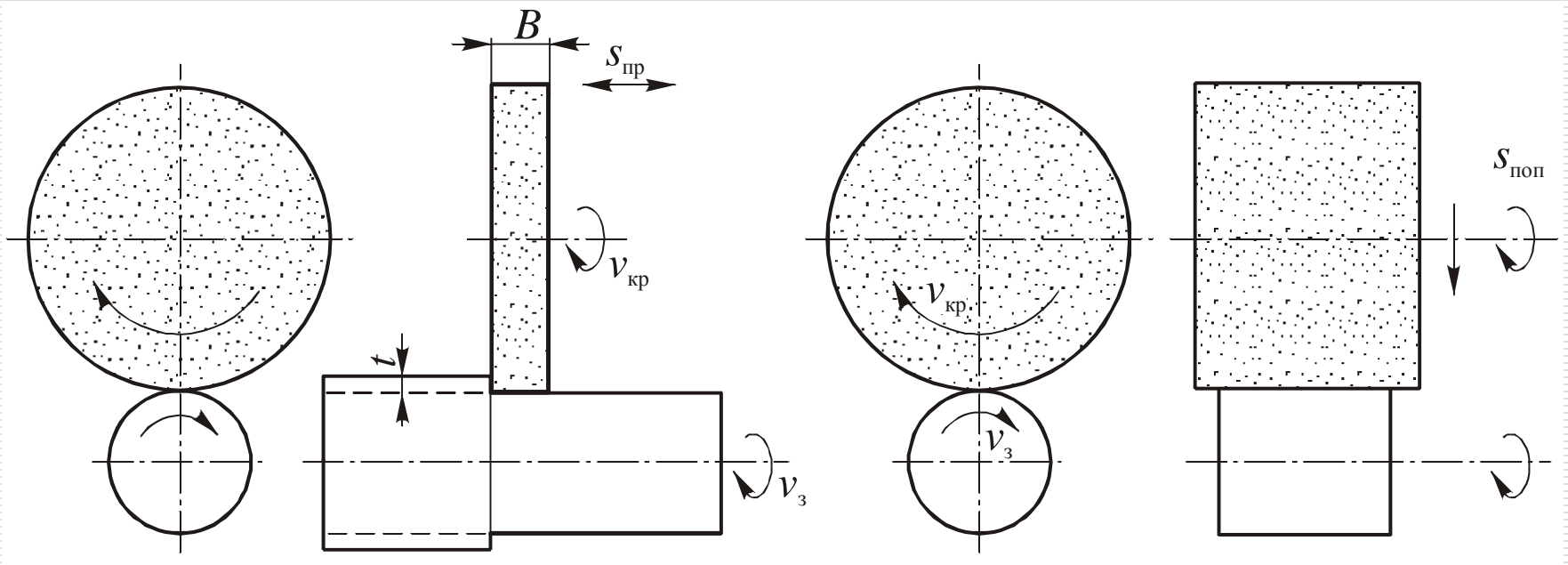
25...250%

**100% - содержание 0,88 г (4,4 карата)  
зерен в 1 см<sup>3</sup> режущего слоя круга.**

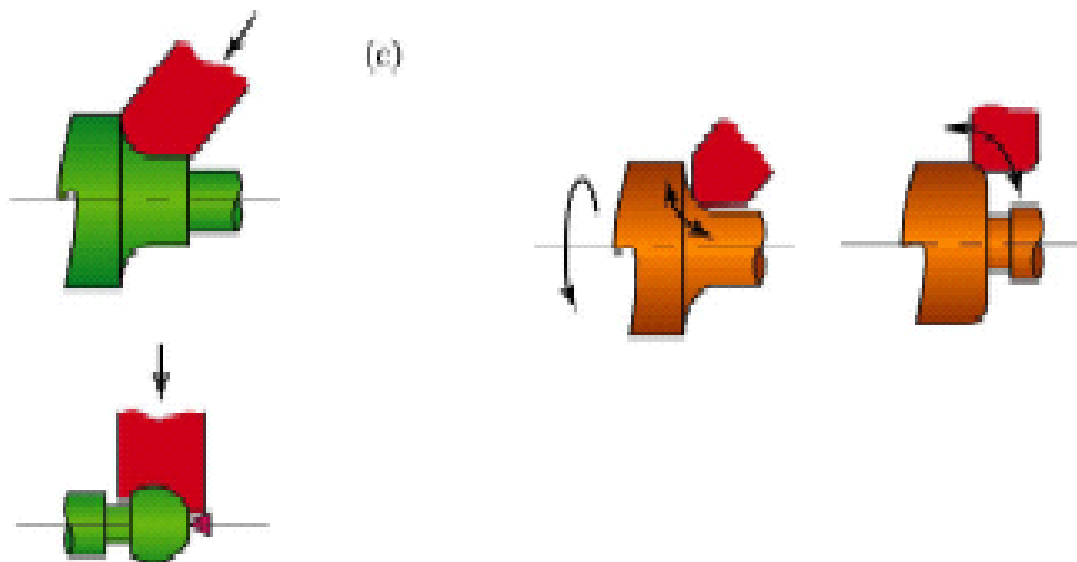
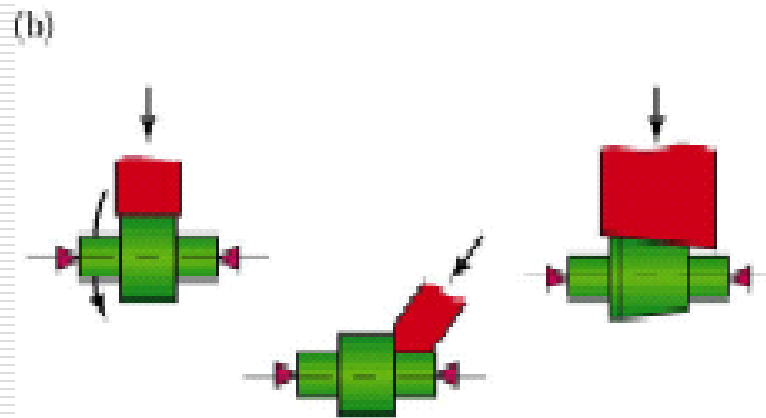
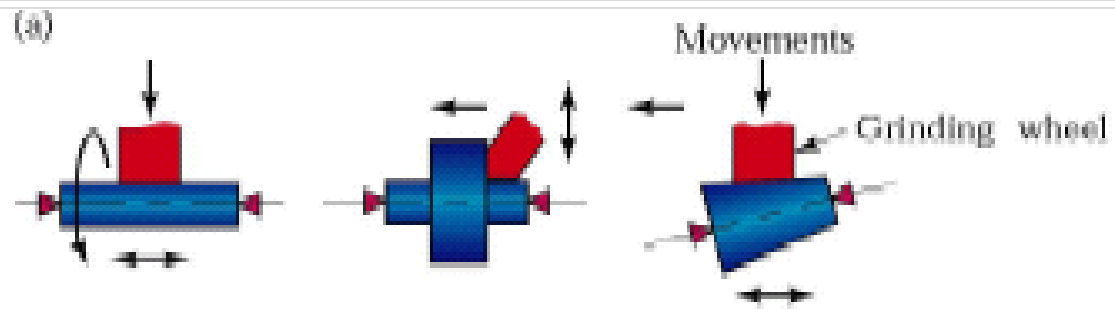


# ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ШЛИФОВАНИЯ

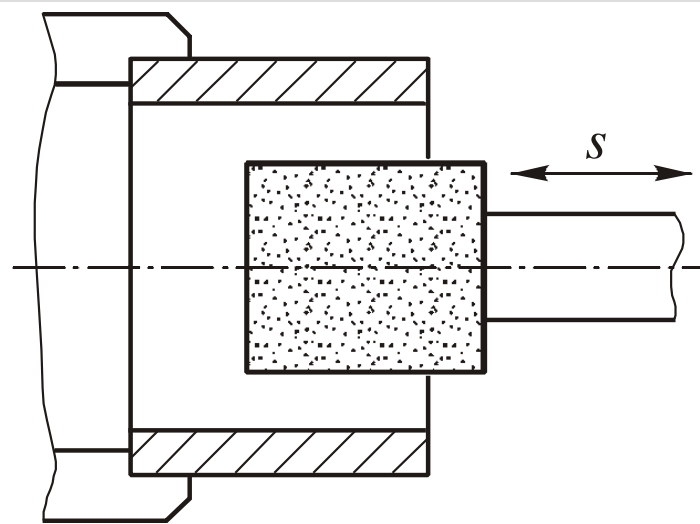
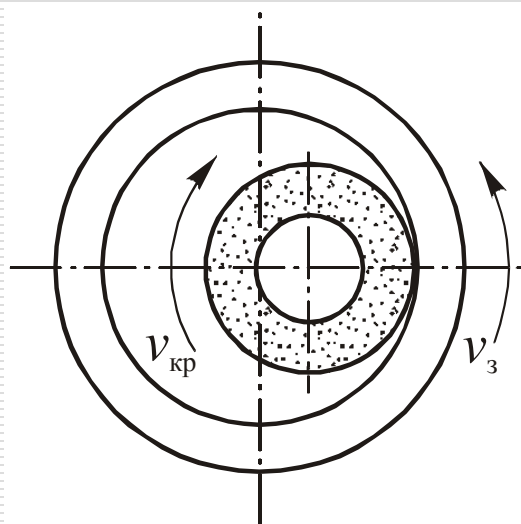
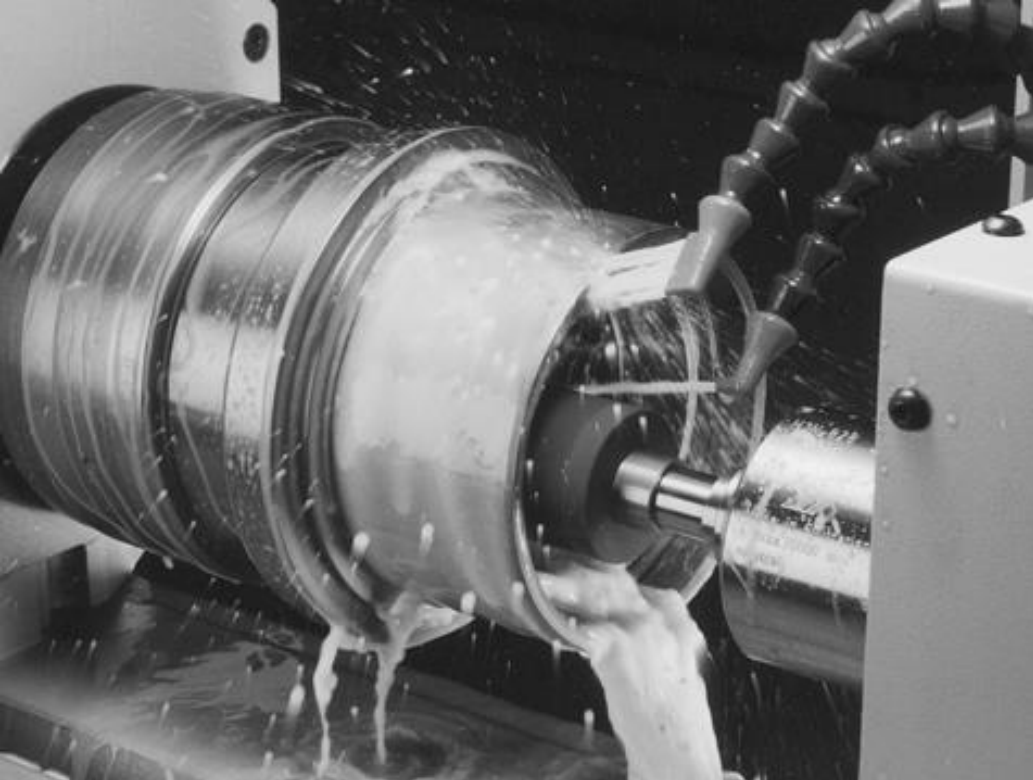


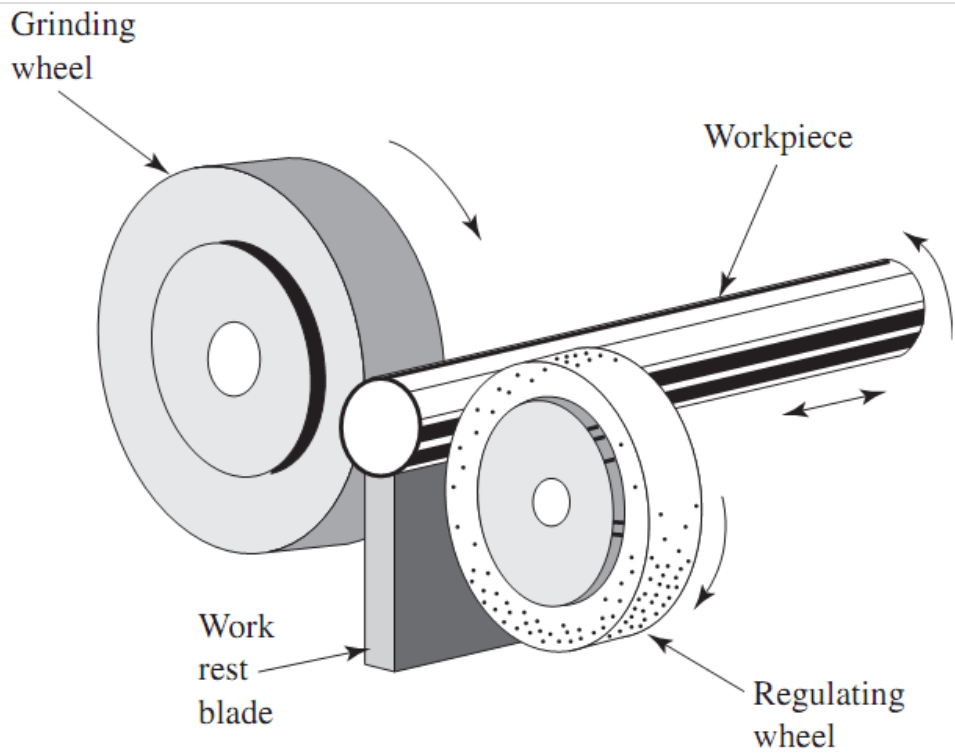




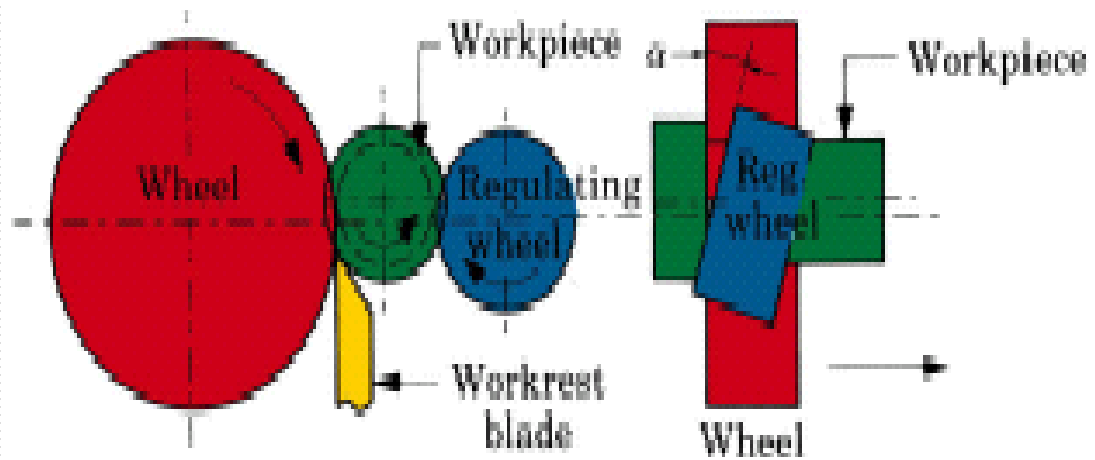


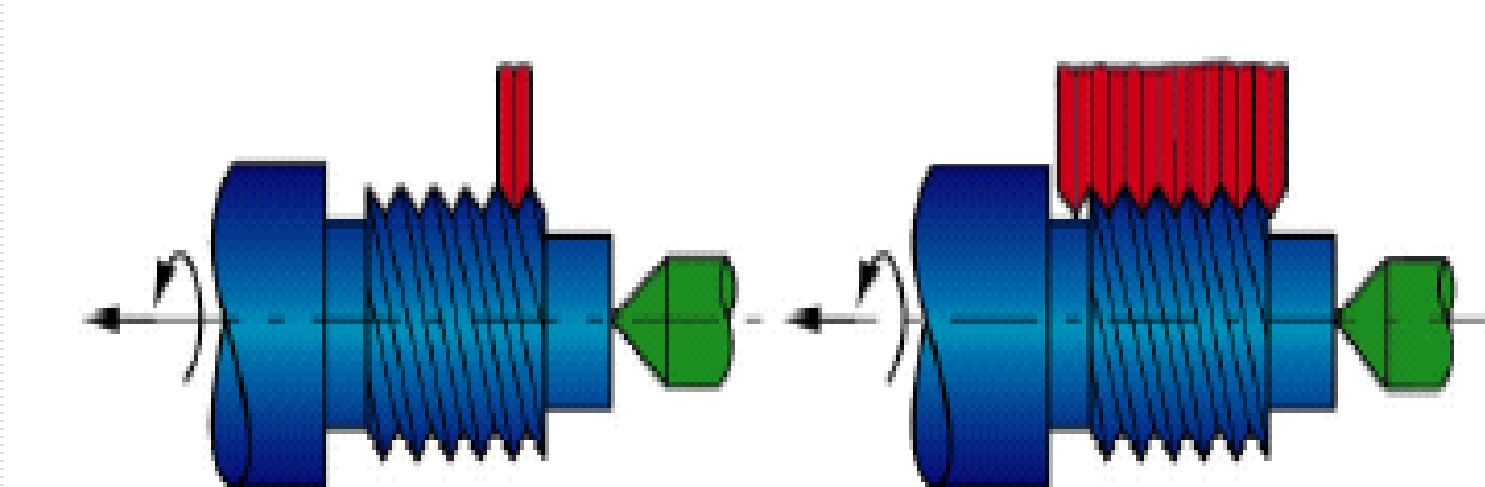
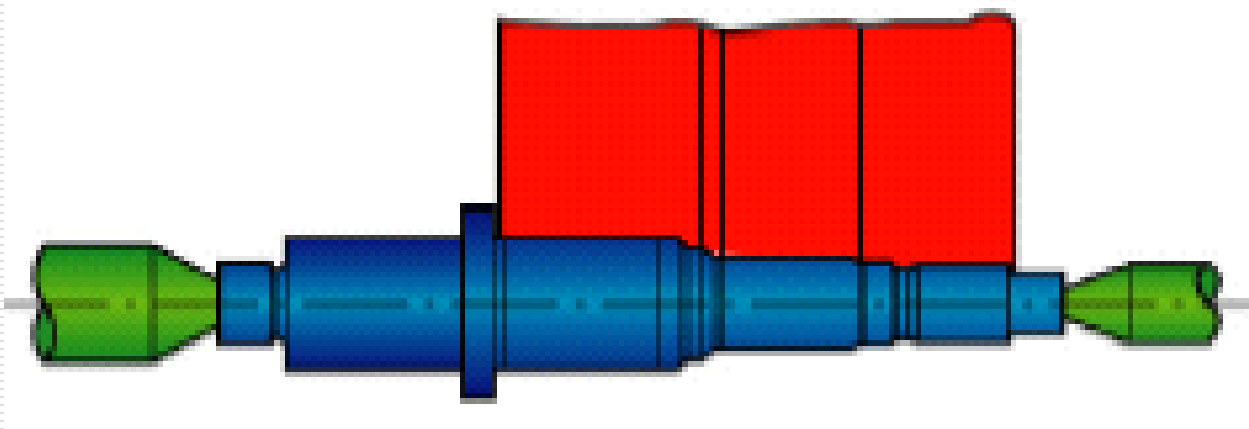




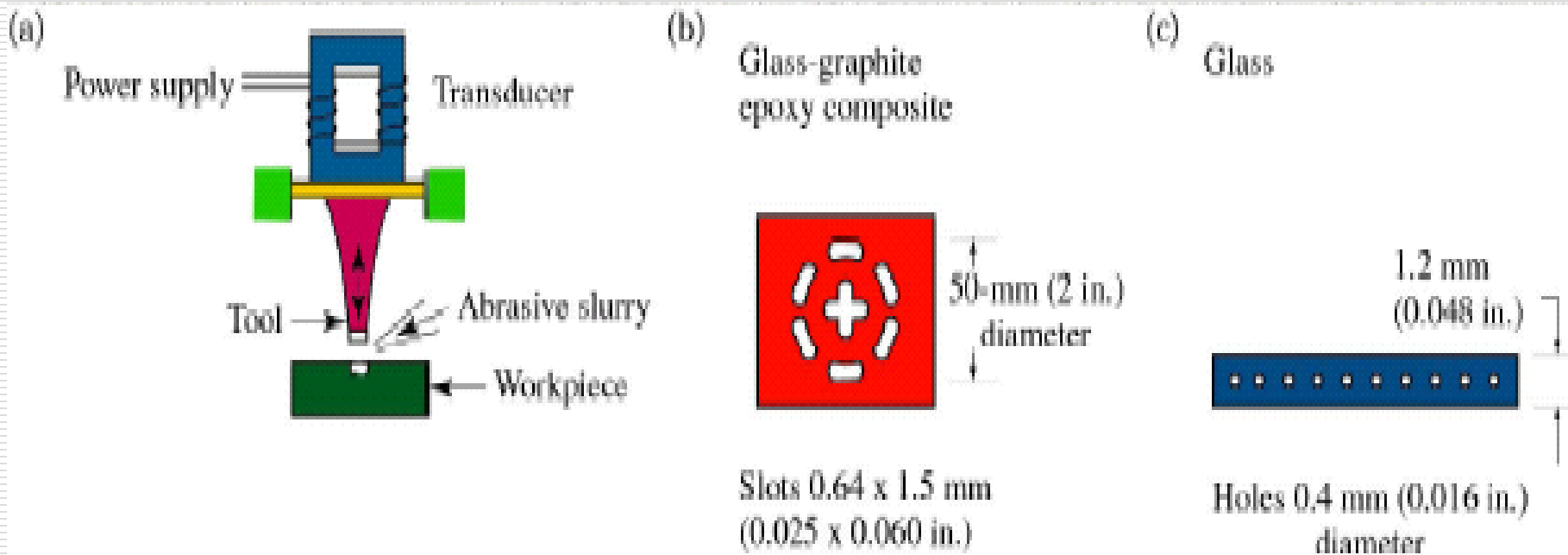


(a) Through feed grinding





# Ультразвуковое шлифование



# **ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

**Расчетами и экспериментами установлено, что в зависимости от условий шлифования**

**в заготовку уходит 60...80% выделившейся теплоты;  
в стружку – 1...30%;  
в абразивный круг – 10...13%.**



## **Наиболее характерными видами износа шлифовальных кругов являются:**

- 1) скругление вершин выступающих зерен и их раскалывание при возрастающей нагрузке;**
- 2) вырывание зерен из связки и обновление в процессе самозатачивания;**
- 3) истирание связки в поверхностных слоях круга;**
- 4) забивание (засаливание) пор и пространства между зернами мелкой стружкой и продуктами износа.**

## **Внешние и косвенные признаки критерии затупления шлифовальных кругов:**

- **повышение затраченной мощности;**
- **возникновение вибраций, шума;**
- **появление следов дробления на обработанной поверхности;**
- **др.**

При «засаливании» круга возникают большие силы трения между кругом и поверхностью резания, резко снижается интенсивность съема металла и увеличивается контактная температура, которая может вызвать образование микротрещин и изменение структуры в поверхностном слое детали. При этом нарушается процесс самозатачивания круга и тогда обработку прекращают.

# РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

## 1. Выбирают характеристики шлифовального круга:

- размеры;
- форма;
- зернистость;
- связка;
- и т.д.

условия обработки  
требуемая точность  
шероховатости

## 2. Назначают глубину резания или поперечную подачу, продольную подачу в долях ширины круга и скорость вращения заготовки с учетом схемы шлифования.





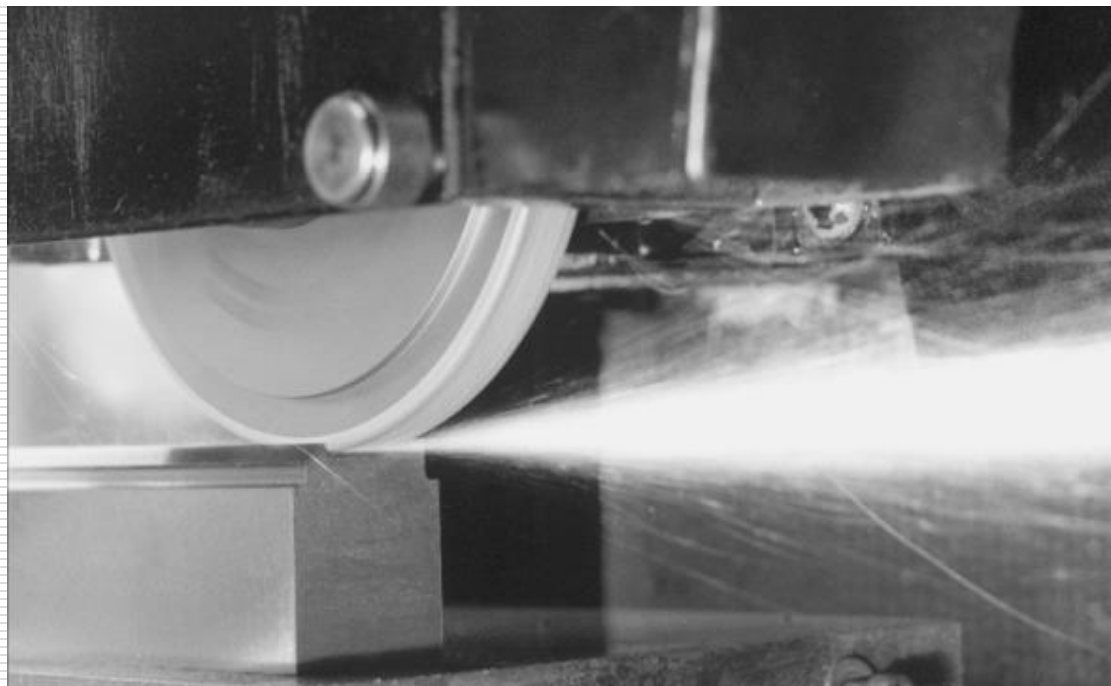
**Обычно припуск снимают за 3 операции:**

**1) 50-60%;**

**2) 30-35%;**

**3) 5-10%.**

**+ выхаживание**

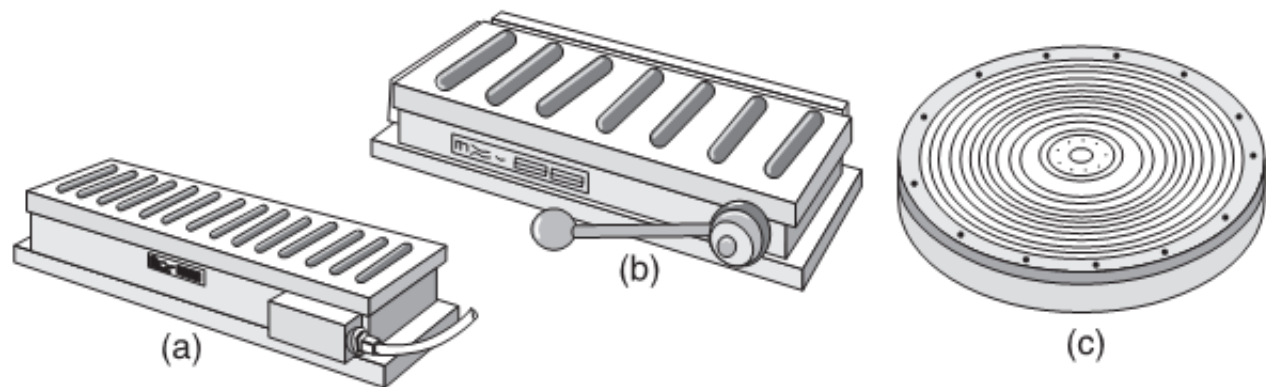


**3. Назначают скорость резания, определяемую скоростью круга, м/с.**

**учитывают влияние скорости круга на шероховатость, точность обработки, нагрузку на зерно, опасность появления прижогов и скорость круга, допускаемую его прочностью.**

**4. Корректируют в соответствии с возможностями кинематики шлифовального станка назначенные параметры режима шлифования.**

**5. Рассчитывают составляющие силы резания и потребляемую мощность по уравнениям.**



# ПРИПУСК



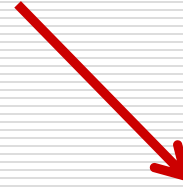
## небольшой

- твердый абразив
- мелкое зерно
- мягкий круг

## большой

- прочный абразив
- крупное зерно
- твердый круг

# МАТЕРИАЛ



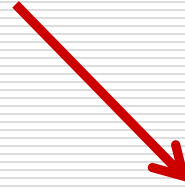
## твердый

- твердый абразив
- мелкое зерно
- мягкий круг
- вытянутые зерна

## мягкий

- электрокорунд
- крупное зерно
- твердый круг

# ШЕРОХОВАТОСТЬ



## низкая

- прочный абразив
- мелкое зерно
- твердый круг

## высокая

- хрупкий абразив
- крупное зерно
- мягкий круг

# ШЛИФОВАНИЕ



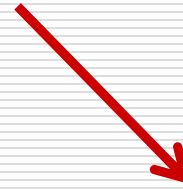
## **плоскостей и непрерывное**

- открытая структура
- мелкое зерно
- мягкий круг

## **фасонное и прерывистое**

- плотная структура
- крупное зерно
- твердый круг

# СКОРОСТЬ КРУГА



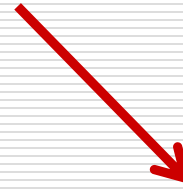
## **высокая**

- мягкий круг
- органич. связка

## **низкая**

- твердый круг
- неорганич. связка

# МОЩНОСТЬ СТАНКА



## **высокая**

- прочный абразив
- твердый круг

## **низкая**

- хрупкий абразив
- мягкий круг

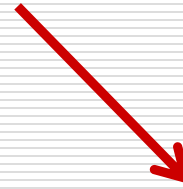


# КОНТАКТНАЯ ПЛОЩАДЬ



## большая

- твердый абразив
- крупное зерно
- мягкий круг



## малая

- прочный абразив
- мелкое зерно
- твердый круг

**ПП 500×50×305 24А 10-П С2 7 К5 35м/с А 1 кл ГОСТ 2424-83**

**ПП – тип круга;**

**500×50×305 – наружный диаметр×высота×диаметр посадочного отверстия;**

**24А – марка шлифовального материала;**

**10-П – зернистость;**

**С2 – степень твердости;**

**7 – номер структуры;**

**К5 – марка связки;**

**35м/с – рабочая окружная скорость;**

**А – класс точности круга;**

**1 кл – класс неуравновешенности.**

**Пример маркировки алмазного шлифовального круга:**

**1 А 1 300×40×76×5 АС4 100/80 100 БП2 2720-0139 ГОСТ 16167-80**

**1** – форма сечения корпуса;

**А** – форма сечения алмазоносного слоя;

**1** – расположение алмазоносного слоя на корпусе круга;

**300×40×76×5** - наружный диаметр×высота×диаметр посадочного отверстия×толщина алмазоносного слоя;

**АС4** – марка алмазного шлифпорошка;

**100/80** – зернистость алмазного шлифпорошка;

**100** – условная концентрация шлифматериала;

**БП2** – марка связки;

**2720-0139** – обозначение типоразмера круга.

---

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

---