

Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств

Раздел:

«*Чистовые и отделочные методы обработки*»

Литература

- 1.Высокоэффективные технологии обработки / Григорьев С.Н., Волосова М.А., Маслов А.Р. и др. / под общ. ред. Григорьева С.Н. – М.: Машиностроение, 2014. - 455 с.
- 2.Маталин А.А. Технология машиностроения. - Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2008. - 512с.
- 3.Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении / под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. - М.: Машиностроение, 2007. – 539 с.
- 4.Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин/ А.Г.Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

В 1632г. в Туле появляется завод по изготовлению литых пушек.

До XVIII в. металлы в холодном состоянии обрабатывались ударом и давлением.

В XIV – XV веках широко использовались токарные станки с ножным приводом.

В 1712г. (...1715г...1717г.) механик Петра I Андрей Константинович Нартов изобрёл оригинальный токарно-копировальный и винторезный станок с механизированным суппортом и набором сменных зубчатых колес (вместо привода - водяное колесо).

Свой суппорт создали тульские механики Алексей Сурнин и Павел Захава.

В 1797г. Генри Модсли (Англия) – аналогичный токарный станок.

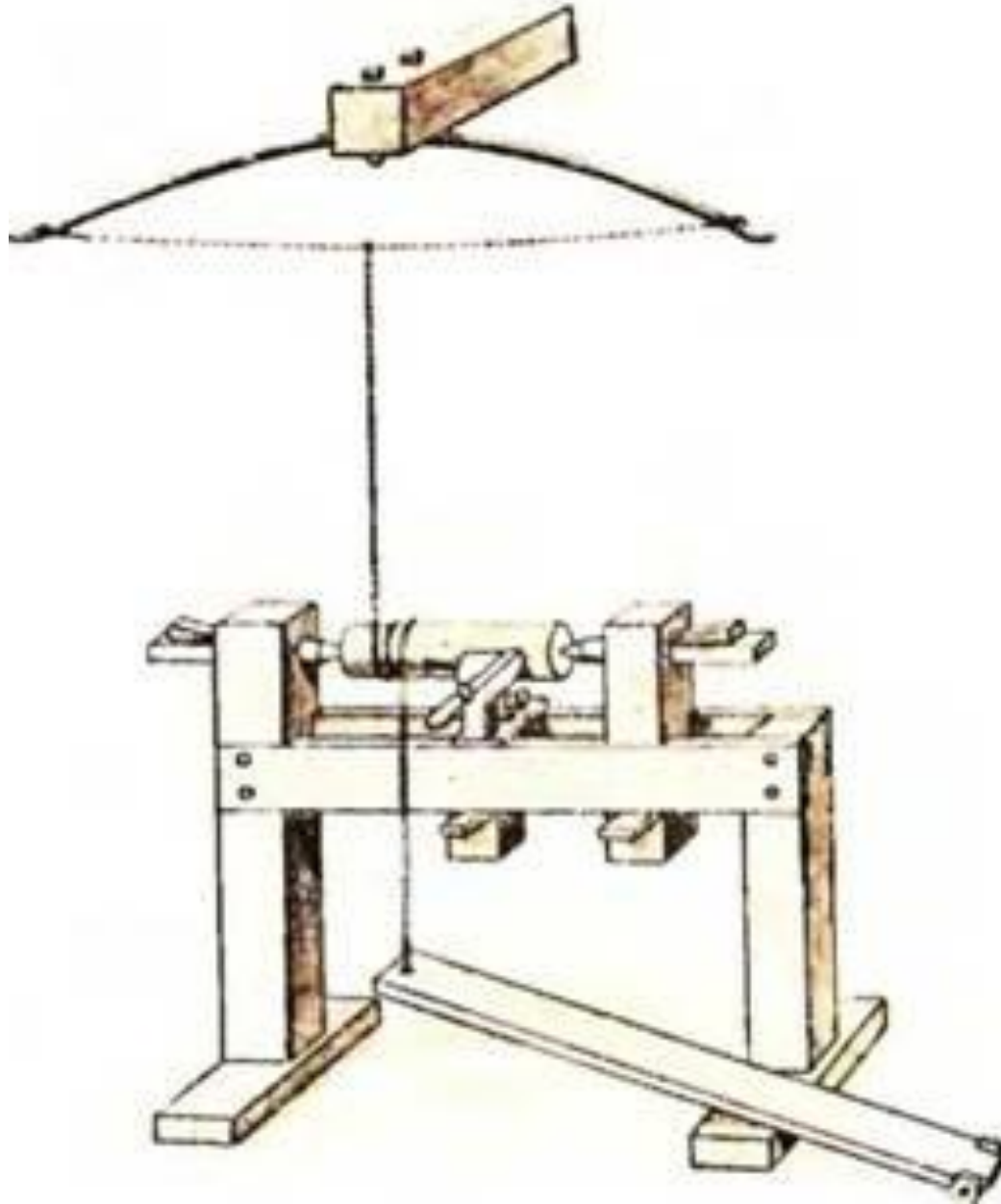
М.В. Ломоносов изобрел лобовые станки для сферических зеркал, станки для сверления зеркал и металлические сплавы.

Яков Батищев изобрел шлифовальный и полировальный станки, технологию в сверлильном деле.

Сурмин, Ползунов изготовили станки,

Механики: Кулибин Иван Петрович (1735-1818г.), Сабакин, и др.

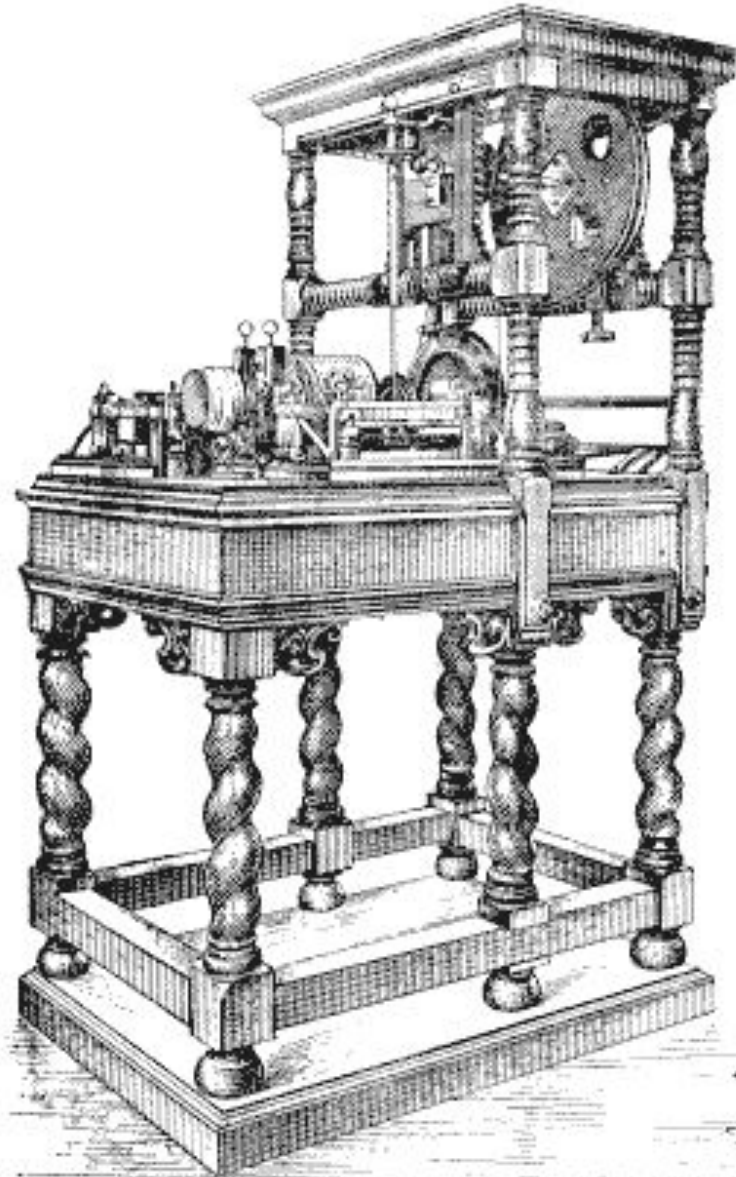
**Один из первых
деревообрабатывающих
станков с ножным
приводом**



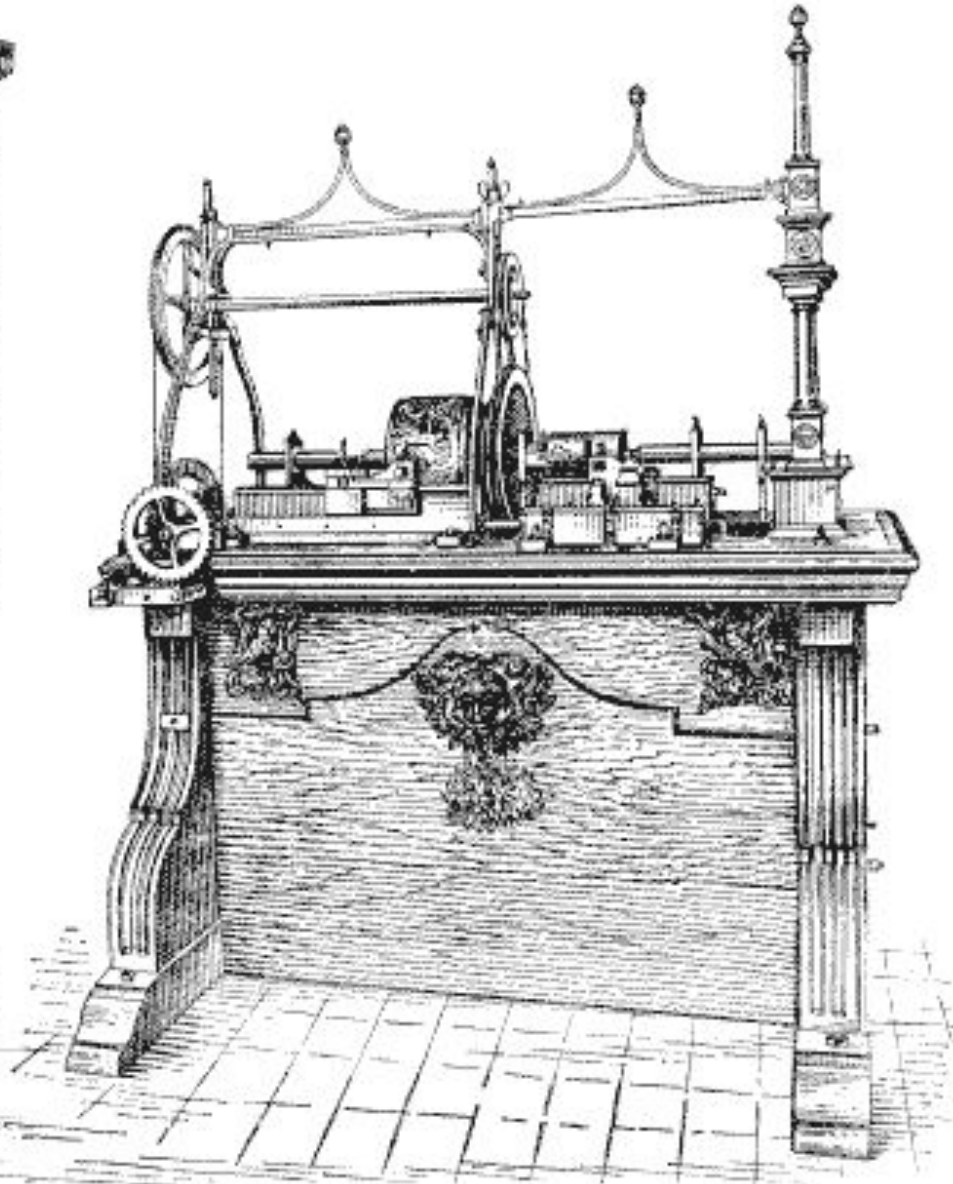
Токарный станок Петра I



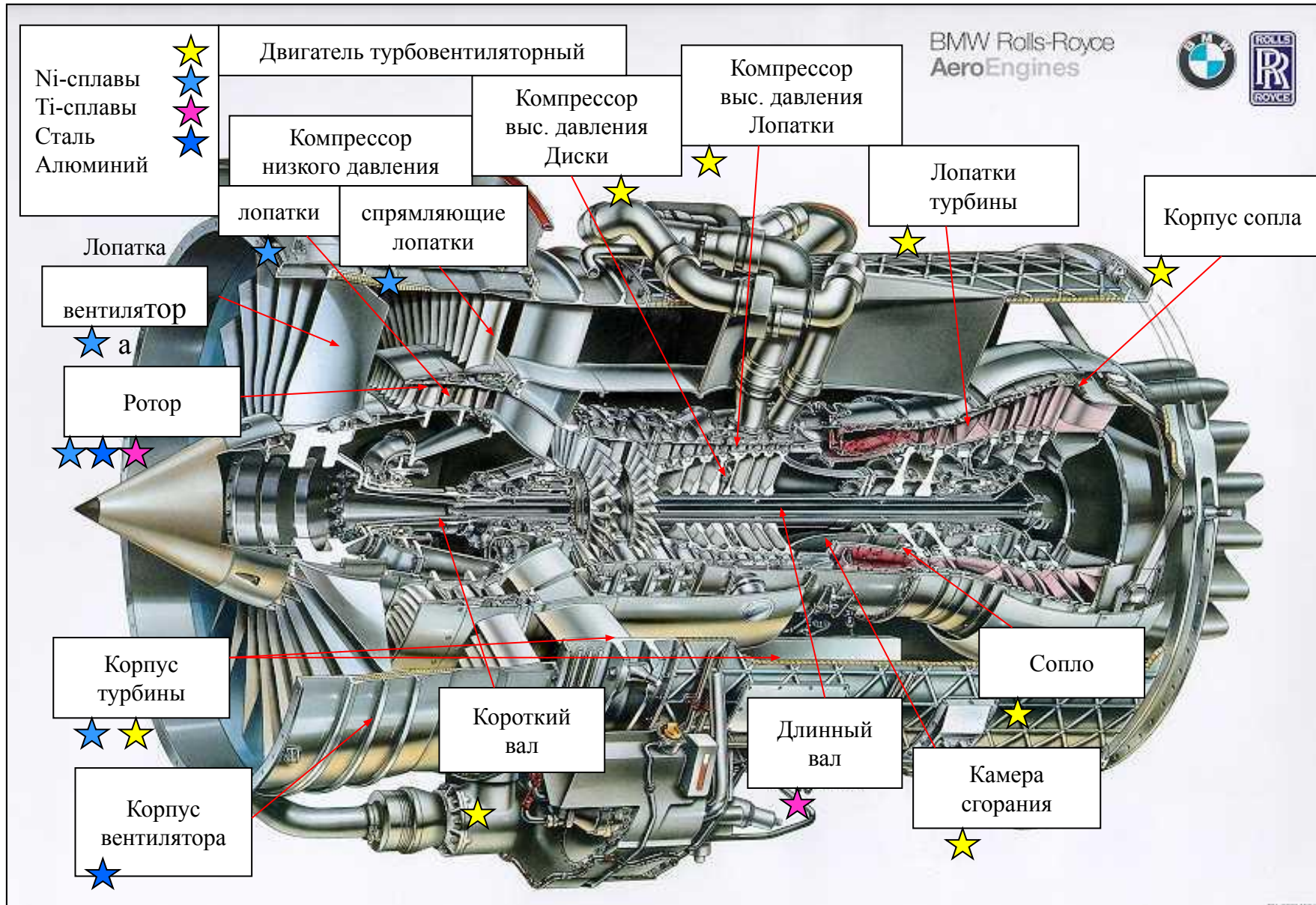
*Токарно-копировальный станок А.
К. Нартова 1712 г. в стиле
русского барокко*



*Большой токарно-копировальный
станок А.К. Нартова 1718-1729 г.г.
в стиле петровского барокко*



Обычные детали двигателя



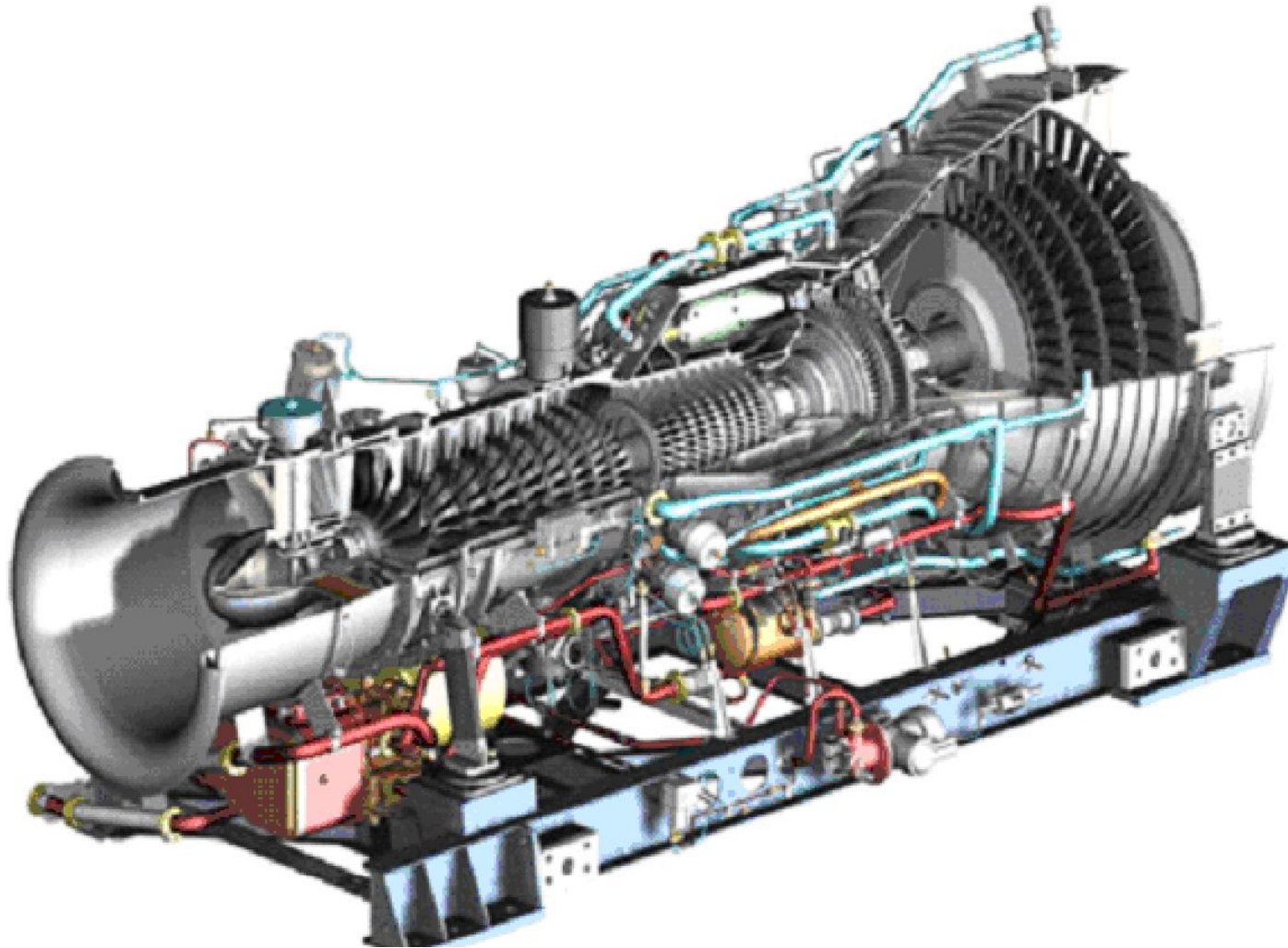
Материалы, применяемые в авиационном двигателестроении

(турбовинтовой двигатель - разрез):

Титановые сплавы (лопатки, компрессор низкого давления)

Титановые или никелевые сплавы (турбина среднего давления)

Титановые или никелевые сплавы (компрессор высокого давления)



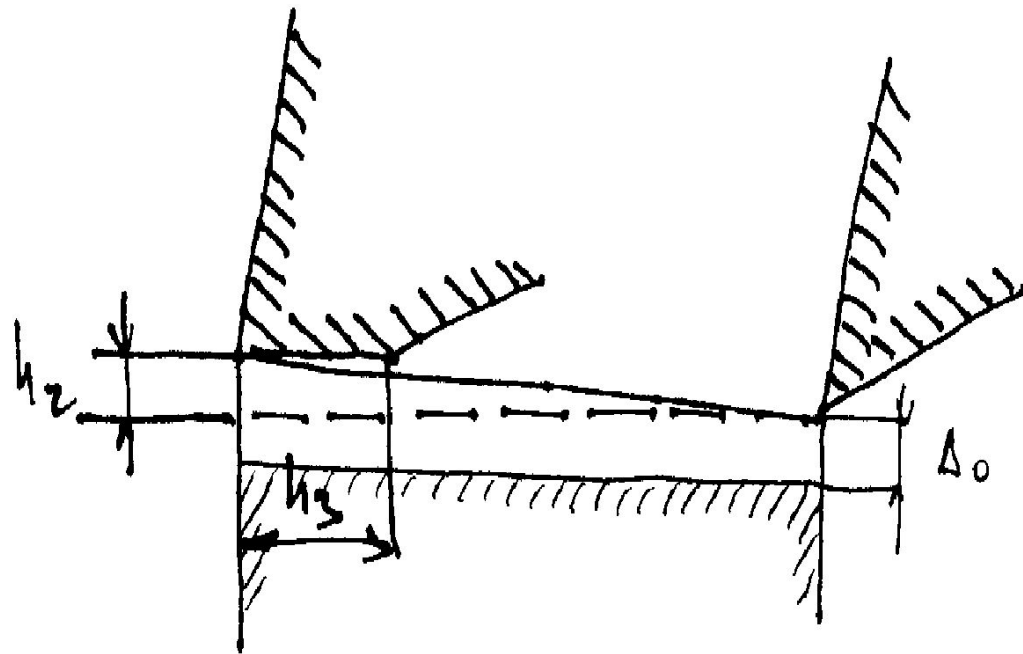
Последовательность решения вопросов точности

- 1) Определяют необходимую точность изготовления.
- 2) Устанавливают методы и средства контроля.
- 3) Определяют технологический процесс, обеспечивающий необходимую точность.
- 4) Устанавливают промежуточные допуски на заготовку и правильные допуски на приспособления.
- 5) Определяют фактическую точность в производственных и, если необходимо, в лабораторных условиях.
- 6) Выявляют причины погрешностей и находят пути их устранения.

Показатели точности

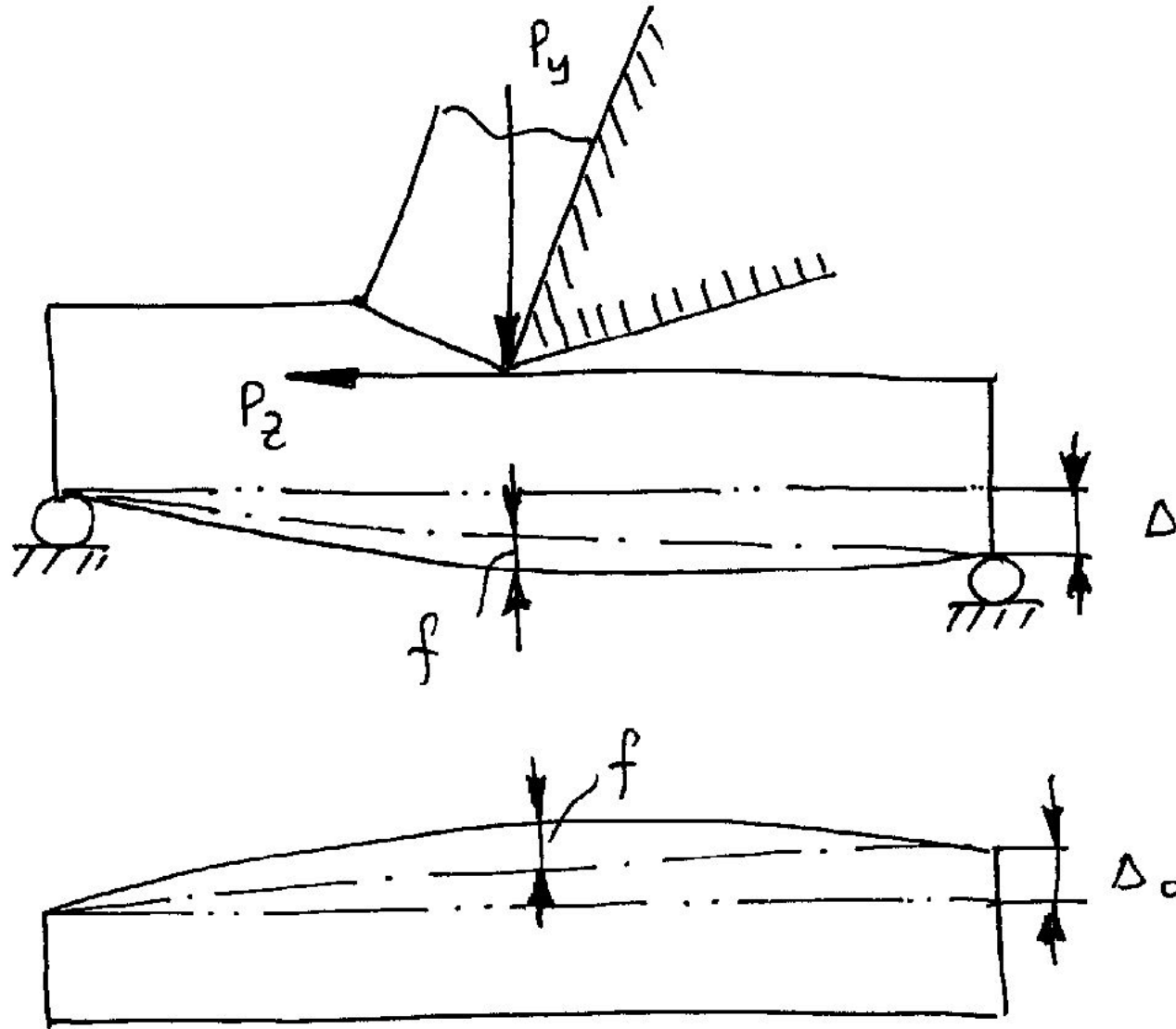
1. Точность размера.
2. Точность взаимного расположения поверхностей детали.
3. Точность геометрических форм изделия (детали)
 - а) макрогеометрические отклонения (погрешности формы);
 - б) волнистость;
 - в) микрогеометрические отклонения (шероховатость).
4. Точность физико-механических свойств.

Точность размеров - отклонение фактических размеров изделия от номинальных.



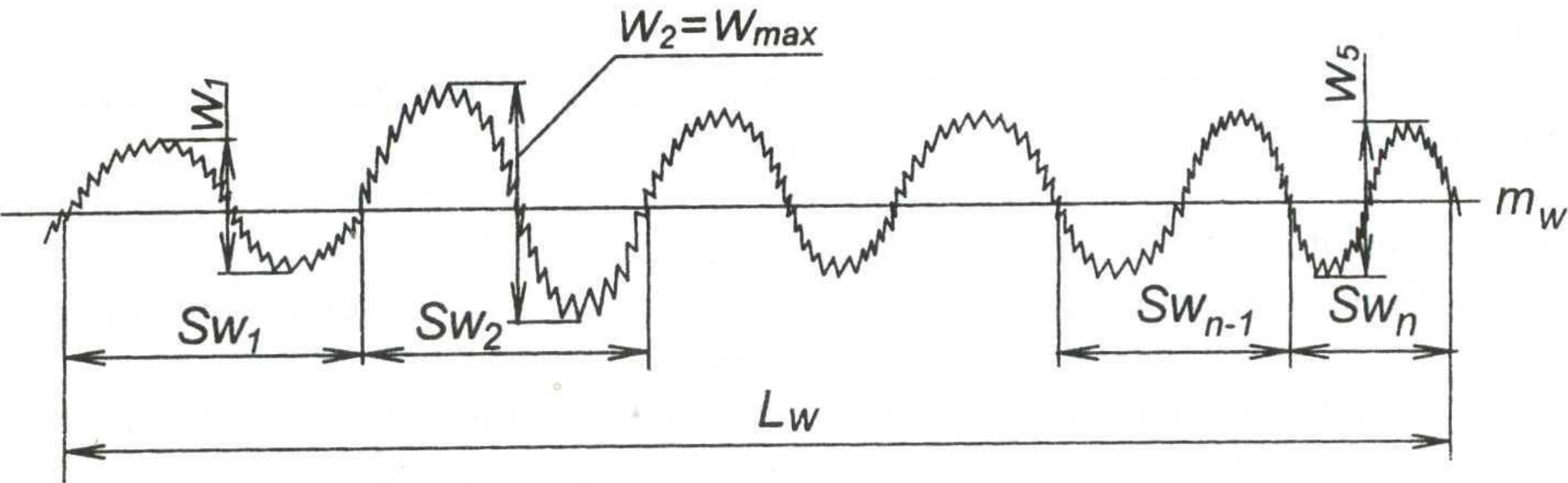
Точность размеров определяется точностью установки инструмента Δ_0 относительно заготовки и износом h_3 инструмента при резании

Точность формы - отклонение фактической формы изделия от номинальной.



Точность формы определяется точностью установки Δ_0 материала на станке и упругими деформациями f материала под действием сил P_y и P_z резания.

Параметры волнистости установлены рекомендацией СЭВ (РС 3951 - 73).



Условно границу между различными порядками отклонений поверхности можно установить по значению отношения шага S_w к высоте неровностей W_z :

при $(S_w/W_z) < 40$ отклонения относят к **шероховатости поверхности**,

при $1000 > (S_w/W_z) > 40$ - к **волнистости**,

при $(S_w/W_z) > 1000$ - к **отклонениям формы**.

Волнистость поверхности

Высота волнистости W_z – это среднее арифметическое значение из пяти значений высот микронеровностей W_i , измеренных на базовой длине l_w , которая должна быть больше пятикратного наибольшего шага волнистости:

$$W_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 W_i$$

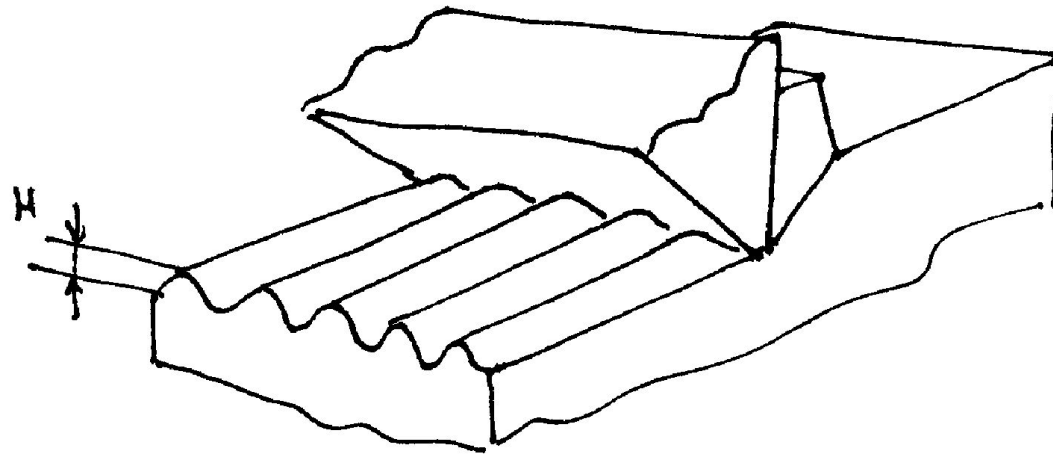
Наибольшая высота волнистости W_{\max} – расстояние между наивысшей и наименьшей точкой профиля волнистости, измеренное на одной волне в пределах базовой длины l_w .

Средний шаг волнистости S_w – среднее арифметическое значение расстояний S_{wi} между одноименными сторонами соседних волн по средней линии профиля в пределах базовой длины:

$$S_w = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 S_{wi}$$

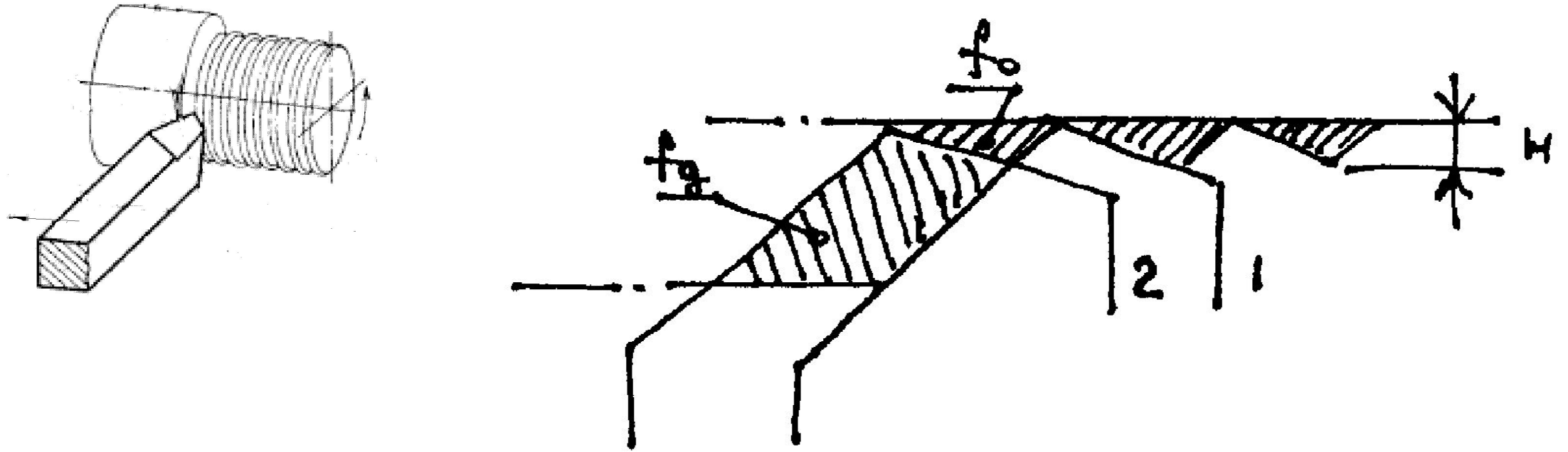
Средняя линия профиля волнистости имеет форму номинального профиля поверхности детали. Она делит профиль волнистости таким образом, что на участке измерения (l_w) сумма квадратов расстояний Y_i точек профиля волнистости до этой линии минимальна.

Формирование микрорельефа поверхности при лезвийной обработке



Образование шероховатости поверхности, когда производящая линия – копия

Формирование микрорельефа поверхности при лезвийной обработке, если производящая линия является следом, огибающей или касательной.



Срезается не весь слой, а только его часть с площадью *действительного сечения* f_D .
Часть слоя с площадью *остаточного сечения* f_o остается на обработанной поверхности изделия, образуя ее рельеф.

Шероховатость обработанной поверхности определяется высотой H остаточного сечения срезаемого слоя

Шероховатость поверхности в процессе обработки

зависит от следующих факторов:

- метода обработки,
- режима обработки,
- глубины резания,
- геометрических параметров и качества режущей части инструмента,
- пластической и упругой деформации материала заготовки или детали,
- жесткости системы СПИЗ,
- смазочно-охлаждающей жидкости и т.д.

Шероховатость поверхности (ГОСТ 2789-73)



R_a - среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i| \quad \text{среднее арифметическое отклонение профиля}$$

$$R_a \approx \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx,$$

R_z - сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины

$$R_z \approx \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n |H_{j \max}| + \sum_{i=1}^n |H_{i \min}| \right) - \text{высота неровностей профиля по 10 точкам}$$

$$R_z \approx \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n h_{i \max} - \sum_{i=1}^n h_{i \min} \right),$$

Ra

среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i| \quad \text{среднее арифметическое отклонение профиля}$$
$$R_a \approx \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx,$$

Rz

сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины

$$R_z \approx \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n |H_{j \max}| + \sum_{i=1}^n |H_{i \min}| \right) - \text{высота неровностей профиля по 10 точкам}$$
$$R_z \approx \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n h_{i \max} - \sum_{i=1}^n h_{i \min} \right);$$

Соотношение значений параметров Ra, Rz, (Rmax) при базовой длине l

Ra, мкм	Rz, (Rmax), мкм	l, мм
до 0,025	до 0,01	0,08
св. 0,025 до 0,4	св. 0,1 до 1,6	0,25
св. 0,4 до 3,2	св. 1,6 до 12,5	0,8
св. 3,2 до 12,5	св. 12,5 до 50	2,5
св. 12,5 до 100	св. 50 до 400	8,0

В зависимости от *способа обработки* между параметрами шероховатости

Ra, Rz, и Rmax установлена примерная корреляционная связь:

для точения и магнитно-абразивной обработки $R_z = 5 \cdot R_a$, $R_{max} = 6 \cdot R_a$;

для шлифования и суперфиниширования $R_z = 5,5 \cdot R_a$, $R_{max} = 7 \cdot R_a$;

для ППД, полирования и притирки (плосковершинной) $R_z = 4 \cdot R_a$, $R_{max} = 5 \cdot R_a$;

В зависимости от *способа обработки* между параметрами шероховатости

R_a , R_z , и R_{max} установлена примерная корреляционная связь:

- для точения и магнитно-абразивной обработки $R_z = 5 \cdot R_a$, $R_{max} = 6 \cdot R_a$;
- для шлифования и суперфиниширования $R_z = 5,5 \cdot R_a$, $R_{max} = 7 \cdot R_a$;
- для ППД, полирования и притирки (плосковершинной) $R_z = 4 \cdot R_a$, $R_{max} = 5 \cdot R_a$;

Рекомендации, устанавливающие допустимые значения параметров шероховатости поверхности R_a и R_z , допуски на размер, форму для различных уровней геометрической точности

Уровень точности А (нормальная точность)	$R_a \leq 0,05J_T$	$R_z \leq 0,2J_T$
Уровень точности Б (повышенная точность)	$R_a \leq 0,025J_T$	$R_z \leq 0,1J_T$
Уровень точности С (высокая точность)	$R_a \leq 0,012J_T$	$R_z \leq 0,05J_T$
Уровень точности Д (особо высокая точность)	$R_a \leq 0,15T_F$	$R_a \leq 0,6T_F$

J_T – допуск соответствующего размера;

T_F – допуск формы, который составляет $< 25\%$ от допуска на размер.

Волнистость поверхности

Высота волнистости W_z – это среднее арифметическое значение из пяти значений высот микронеровностей W_i , измеренных на базовой длине l_w , которая должна быть больше пятикратного наибольшего шага волнистости:

$$W_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 W_i$$

Наибольшая высота волнистости W_{\max} – расстояние между наивысшей и наимизшей точкой профиля волнистости, измеренное на одной волне в пределах базовой длины l_w .

Средний шаг волнистости S_w – среднее арифметическое значение расстояний S_{wi} между одноименными сторонами соседних волн по средней линии профиля в пределах базовой длины:

$$S_w = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 S_{wi}$$

Средняя линия профиля волнистости имеет форму номинального профиля поверхности детали.

Она делит профиль волнистости таким образом, что на участке измерения (l_w) сумма квадратов расстояний Y_i точек профиля волнистости до этой линии минимальна.

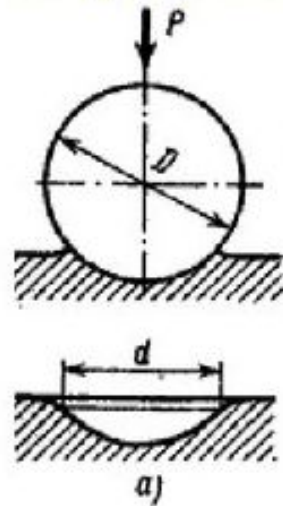
Параметры физико-механических свойств

- 1). твердость;
- 2). структура поверхностного слоя;
- 3). остаточные напряжения;
- 4). наклеп;
- 5). глубина дефектного слоя.

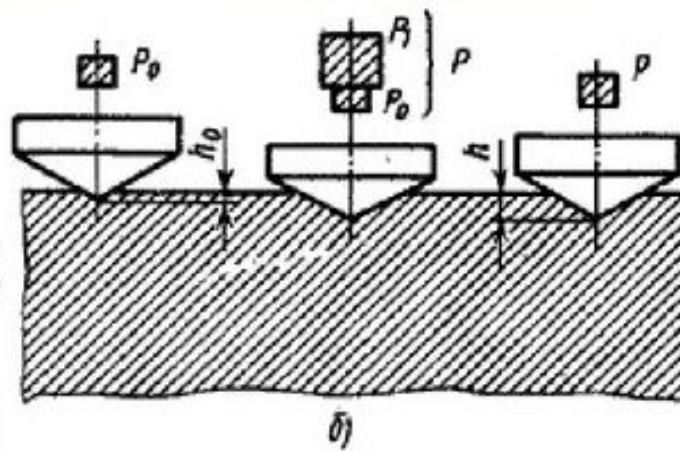
Твердость

Твердость – способность материалов сопротивляться проникновению в него инородного тела при статическом вдавливании.

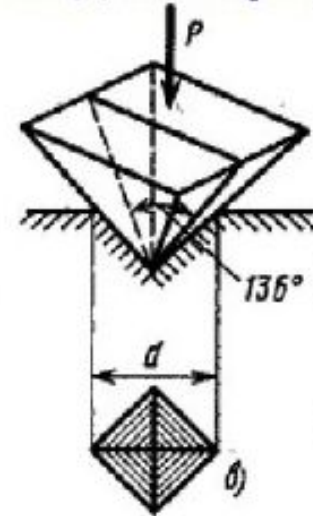
Метод Бринеля



Метод Роквелла



Метод Викерса



- О твердости металлов судят либо по площади полученного отпечатка (метод Бринеля), либо по глубине вдавливания индентора (метод Роквелла), либо по диагонали полученного отпечатка (метод Викерса для тонких образцов).

**Диапазоны шкал твердости по Роквеллу и Супер-Роквеллу,
воспроизводимых эталоном по ГОСТ 8064 - 94**

	Шкалы	Диапазоны измерений
Роквелла	A	70 - 93 HRA
	B	25 - 100 HRB
	C	20 - 67 HRC
Супер-Роквелла	N 15	70 - 94 HRN 15
	N 30	40 - 86 HRN 30
	N 45	20 - 78 HRN 45
	T 15	62 - 93 HRT 15
	T 30	15 - 82 HRT 30
	T 45	10 - 72 HRT 45

Примеры обозначений твердости:

250 HB 5/750 - твердость по **Бринеллю** 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм при силе 75 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

575 HBW 2,5/187,5/30 - твердость по **Бринеллю** 575, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм при силе 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с.

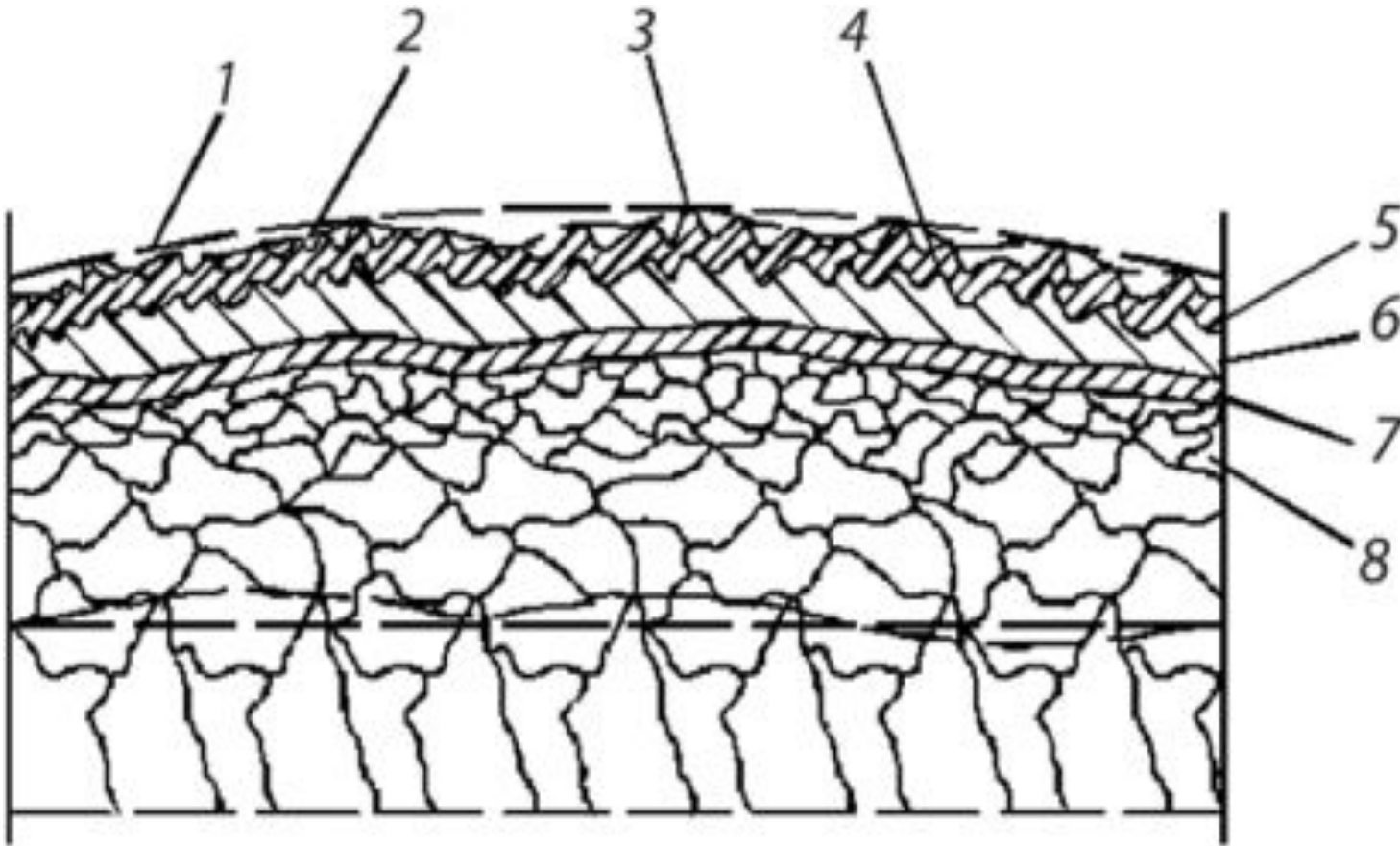
185 HB, 600 HBW - при определении твердости стальным шариком или *шариком из твердого сплава* диаметром 10 мм при силе 3000 кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с.

500 HV-твердость по **Виккерсу**, полученная *при силе 30 кгс и времени выдержки 10-15с.*

220 HV 10/40 - твердость по **Виккерсу**, полученная при силе 98,07 Н (10 кгс) и времени выдержки 40 с.

61,5 HRC - твердость по **Роквеллу** 61,5 единиц по шкале С

Схема поверхностного слоя детали



- 1 - макроотклонение поверхности;
- 2 - волнистость поверхности;
- 3 - шероховатость поверхности;
- 4 - субшероховатость поверхности;
- 5 - верхняя зона;
- 6 - промежуточная зона;
- 7 - граничная зона;
- 8 - деформированный и упрочненный слой материала

Структура поверхностного слоя оценивается

- размером зерна,
- плотностью дислокаций,
- концентрацией вакансий,
- размером блоков,
- углом разориентации блоков,
- размером областей когерентного рассеяния,
- среднеквадратическим смещением атомов, вызванным статическими искажениями решетки,
- среднеквадратическим смещением атомов, вызванным их тепловыми колебаниями.

Остаточные напряжения - упругие напряжения, не исчезающие после прекращения резания.

По признаку протяженности силового поля различают остаточные напряжения:

- ❖ макронапряжениями 1-го рода - зональные, уравнивающиеся отдельными зонами сечения и между разными частями деталей, имеют ориентацию, связанную с формой детали;
- ❖ микронапряжениями 2-го рода - уравниваются в объемах, соизмеримых с размером зерна или группой зерен металла;
- ❖ субмикроскопические 3-го рода - уравниваются внутри объема металла, порядка нескольких элементарных ячеек кристаллической решетки. статическими искажениями решетки (напряжения 3-го рода).

Наклён - упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации

Наклеп оценивается:

1. степенью деформирования,
2. глубиной наклепа,
3. степенью наклепа,
4. градиентом наклепа и
5. макродеформацией решетки.

Вследствие наклепа твердость поверхностного слоя
в сравнении с первоначальной повышается:

- у алюминия – на 90-100 %;
- у латуни – на 60 – 70 %;
- у мягкой конструкционной и аустенитной сталей – на 40 – 50 %;
- у твердой конструкционной стали – на 20 – 30 %.

При обычных условиях обработки конструкционной стали средней твердости
глубина наклепанного слоя в среднем составляет:

- при черновой обработке резцом - 0,4 – 0,5 мм;
- при чистовой обработке резцом- 0,07 – 0,08 мм;
- при шлифовании - 0,04 – 0,06 мм;
- при полировании - 0,02 – 0,04 мм;
- при доводке - 0,015 – 0,020 мм.

Безотказность и долговечность исполнения своих функций изделием определяются рядом эксплуатационных свойств деталей:

- статической и усталостной прочностью,
- износостойкостью,
- коррозионной стойкостью,
- контактной жёсткостью,
- герметичностью,
- прочностью посадок
- усталостной прочностью и т.д.

- 1. Статическая и усталостная прочность** - способность деталей сопротивляться разрушению при воздействии соответственно статической и динамической нагрузок.
- 2. Поверхностная контактная статическая и динамическая прочность (износостойкость)** определяется способностью поверхностного слоя детали сопротивляться разрушению при контакте с другой деталью под воздействием соответственно статических и динамических нагрузок.
- 3. Коррозионная стойкость деталей** - это способность поверхностных слоёв сопротивляться разрушению под действием внешней среды.
- 4. Контактная жёсткость** определяет способность слоёв деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать.
- 5. Герметичность соединений** определяет их способность удерживать утечку газа или жидкости. С увеличением шероховатости поверхности герметичность соединений снижается.

6. Прочность посадок с натягом определяет их способность передавать крутящий момент и осевые нагрузки без взаимного проскальзывания сопрягаемых деталей.

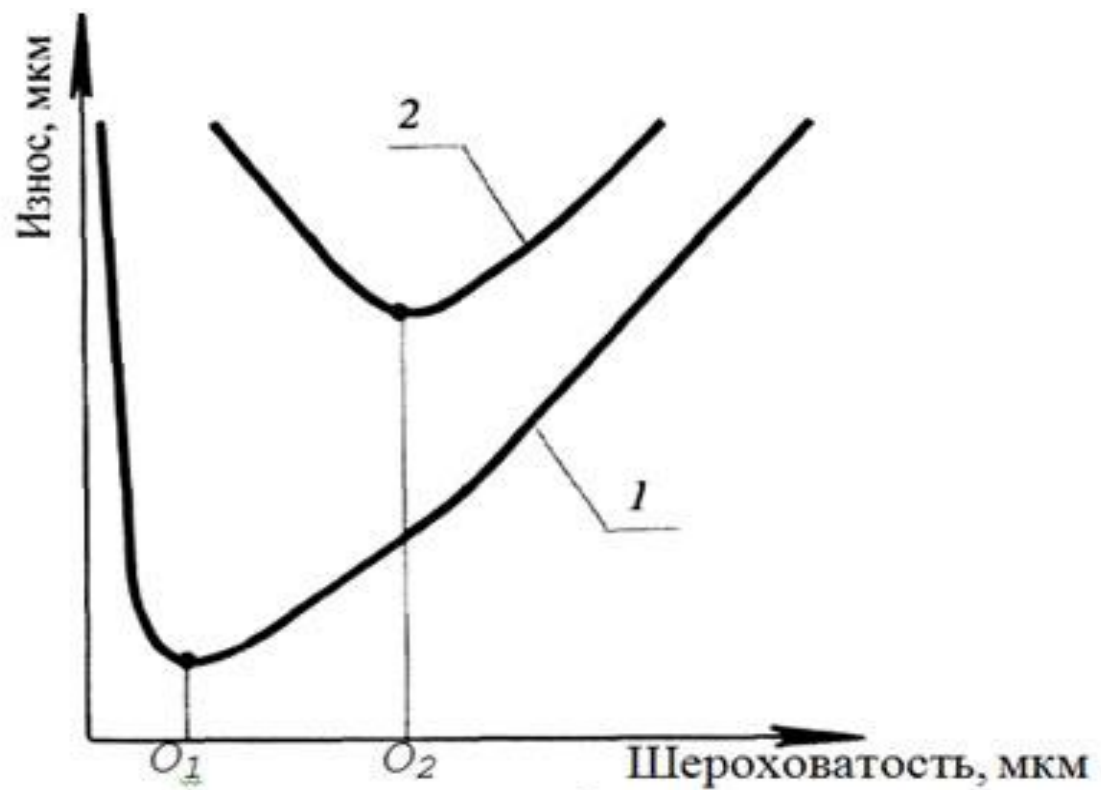
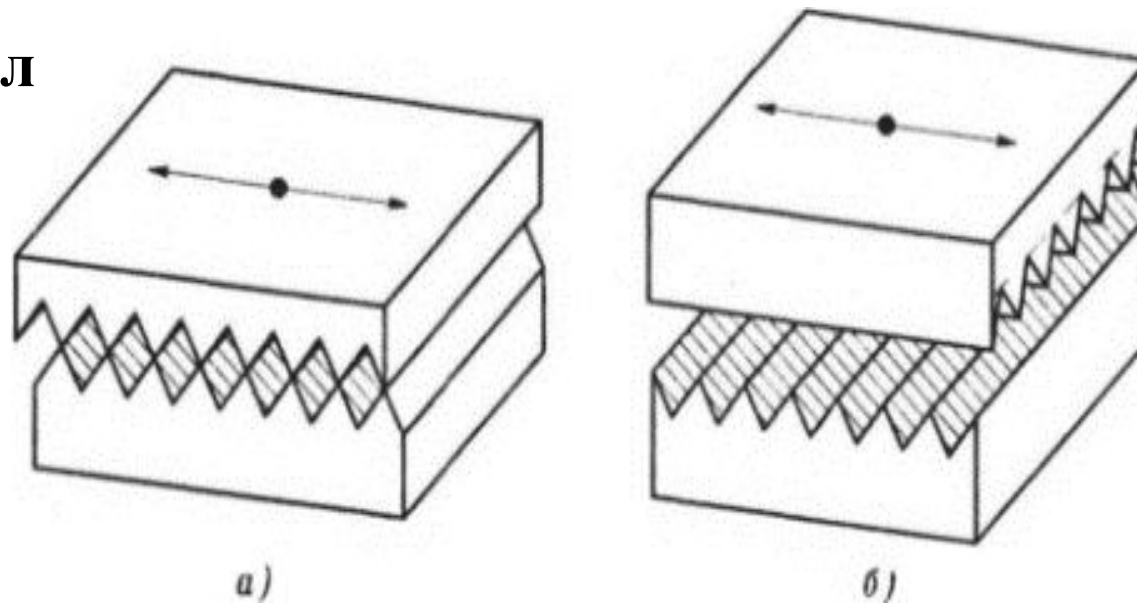
7. Усталостная прочность очень сильно зависит от величины, знака и глубины распространения остаточных напряжений поверхностного слоя.

Повышение усталостной прочности при изгибе гладких образцов из стали 40 по крайней мере на 30% зависит от *остаточных напряжений* и на 70% - от *деформационного упрочнения*.

Наклёп *уменьшает сжатие и истирание* поверхностей при наличии их непосредственного контакта и взаимное внедрение поверхностных слоёв, возникающее при их механическом и молекулярном взаимодействии.

Упрочнение металла до определённых пределов *препятствует росту существующих и возникновению новых усталостных трещин*. Такой слой может значительно нейтрализовать вредное влияние наружных дефектов и шероховатости поверхности, при этом заметно повышается усталостная и циклическая прочность деталей машин (на 20-30 %).

Схема контакта двух тел



Технологическая наследственность - перенос свойств обрабатываемого изделия от предшествующих операций к последующим.

Технологическая наследственность сказывается в дальнейшем на **эксплуатационных свойствах изделия**, определяемых:

- 1) методами и режимами, используемыми в отдельных операциях механической и термической обработки;
- 2) видом и состоянием режущего инструмента;
- 3) условиями его охлаждения;
- 4) размерами операционных припусков;
- 5) последовательностью и содержанием операций технологического процесса и т.д.

Методы упрочнения:

1. упрочнение с образованием *пленки* на поверхности;
2. с изменением *химического состава* поверхностного слоя;
3. с изменением *энергетического запаса* поверхностного слоя;
4. с изменением *структуры по всему объему* материала;
5. с изменением *структуры поверхностного* слоя;
6. с изменением *микрogeометрии* поверхности и наклепом.

1 Упрочнение с созданием пленки на поверхности

- а) осаждение химической реакции (оксидирование, сульфидирование, фосфатирование, нанесение упрочняющего смазочного материала, осаждение из газовой фазы).
- б) осаждение из паров (термическое испарение тугоплавких соединений, катодно-ионная бомбардировка, прямое электронно-лучевое испарение, реактивное электронно-лучевое испарение, электронно-химическое испарение).
- в) электролитическое осаждение (хромирование, никелирование, электрофорез, никельфосфатирование, борирование, борохромирование, хромофосфатирование).
- г) напыление износостойких соединений (плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление, вихревое напыление, индукционное припекание порошковых материалов).

2 Упрочнение с изменением химического состава поверхностного слоя металла

- а) диффузионное насыщение (борирование, цианирование, азотирование, нитроцементация и т.п.)
- б) химическое и физико-химическое воздействие (химическая обработка, ионная имплантация, электроискровая обработка и т.д.).

3 Упрочнение с изменением энергетического запаса поверхностного слоя

- а) обработка в магнитном поле (термомагнитная обработка, импульсным магнитным полем, магнитным полем);
- б) обработка в электрическом поле.

4 Упрочнение с изменением *структуры всего объема* металла

- а) термообработка при положительных температурах (закалка, отпуск, улучшение, закалка ТВЧ, нормализация, термоманитная обработка);
- б) криогенная обработка (закалка с обработкой холодом, термоциклирование).

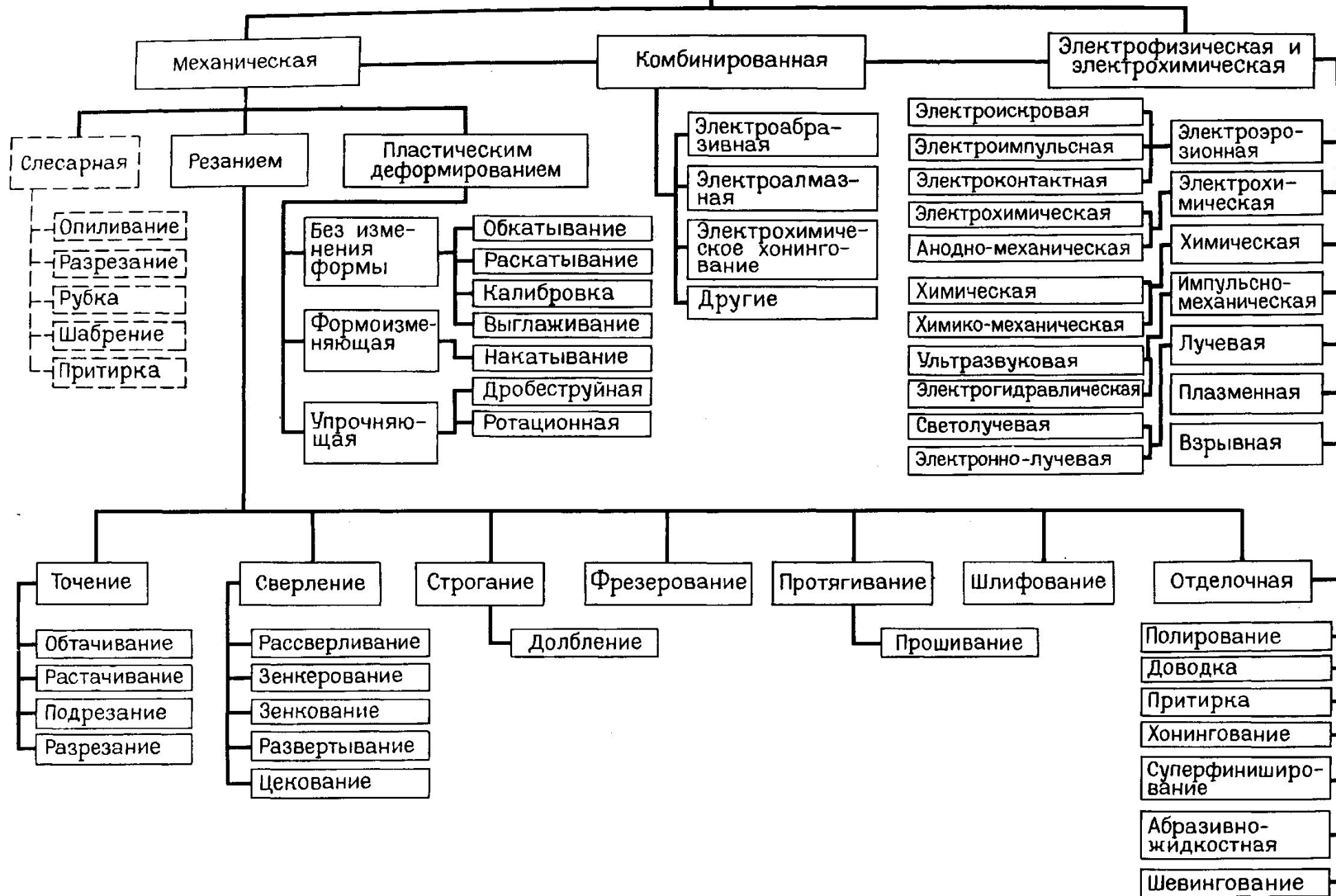
5 Упрочнение с изменением *структуры поверхностного слоя*

- а) физико-термическая обработка (лазерная закалка, плазменная закалка);
- б) электрофизическая обработка (электроконтактная, электроэрозионная, магнитная обработка);
- в) механическая (упрочнение вибрацией, фрикционно-упрочняющая обработка, дробеструйная, обработка взрывом, термомеханическая, электромеханическая);
- г) наплавка легированным элементом (газовым пламенем, электрической дугой, плазмой, лазерным лучом, пучком ионов и т.д.).

6 Упрочнение с изменением *микрogeометрии поверхности и наклепом*

- а) обработка резанием (точение, шлифование, сверхскоростное резание);
- б) ППД (накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, вибронакатывание, вибровыглаживание, калибрование, центробежно-ударное упрочнение, виброударное и т.д.);
- в) комбинированные методы (анодно-механическая, поверхностное легирование с выглаживанием, резание с воздействием ультразвуковых колебаний, магнитно-абразивная обработка и т.д.).

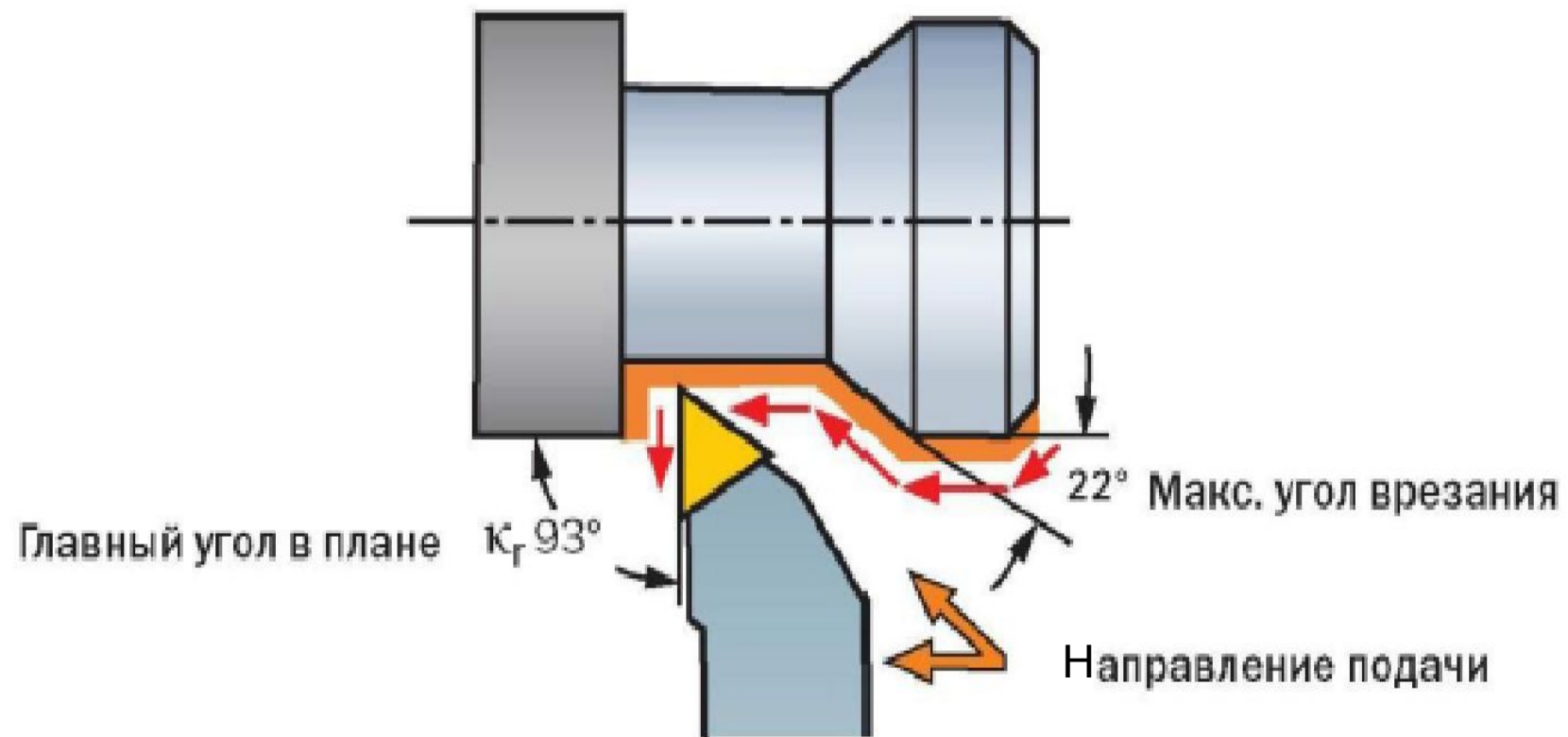
Технологические методы обработки заготовок



Методы финишной обработки:

- тонкое точение;
- шлифование;
- хонингование;
- суперфиниширование;
- полирование;
- притирка;
- доводка;
- поверхностное пластическое деформирование поверхности.

Метод обработки поверхности		Достигаемый квалитет	Шероховатость, мкм, Ra
Точение	черновое	12-14	50-6,3
	получистовое	11-13	25-1,6
	чистовое	8-10	6,3-0,4
	тонкое	6-9	1,6-0,2



Операция **тонкого точения** выполняется с использованием:

- высоких скоростей резания $V = (100 \dots 1000 \text{ м/мин})$,
- при малых глубинах резания $t = (0,003 \dots 0,1 \text{ мм})$,
- малых подачах $S = (0,02 \dots 0,1 \text{ мм/об})$,
- на высокоточных и быстроходных станках.

Режимы обработки при точении деталей:

- из бронзы применяется скорость резания 200...300 м/мин,
- из алюминиевых сплавов – 1000 м/мин,
- конструкционных сталей – 100...200 м/мин,
- из легированных сталей обрабатываются со скоростью резания не выше 150 м/мин,
- из медных сплавов – 300...700 м/мин.

Тонкое растачивание производят

расточными резцами, оснащенными пластинками из сплавов Т30К4 или Т60К6,

на высоких скоростях резания:

$V = 300 \div 1500$ м/мин для цветных металлов,

$V = 100 \div 300$ м/мин для черных металлов;

при малых сечениях срезаемого слоя,

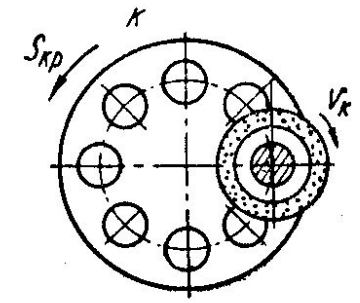
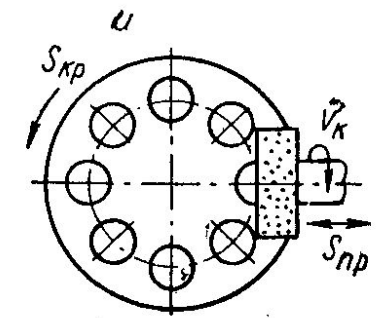
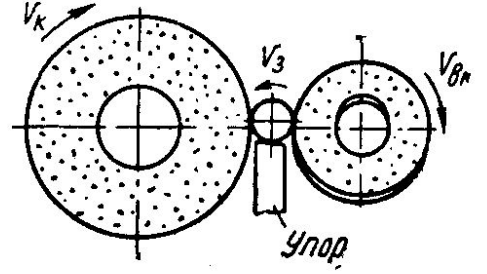
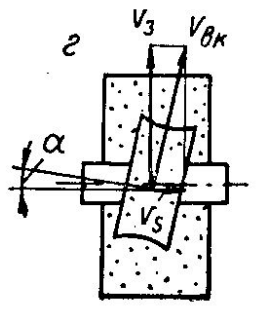
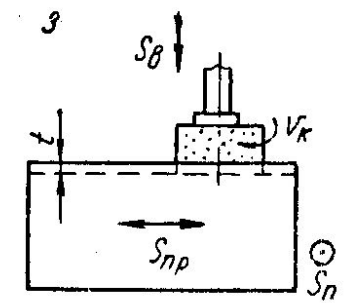
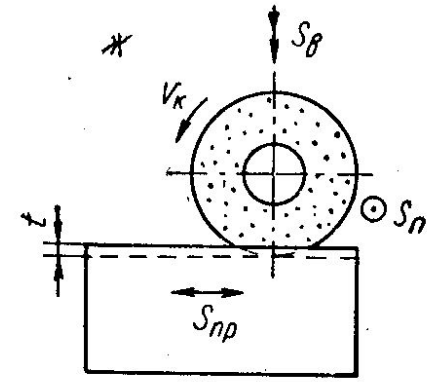
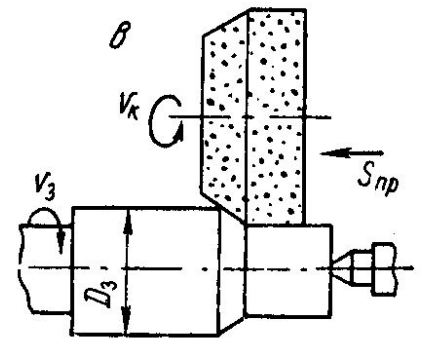
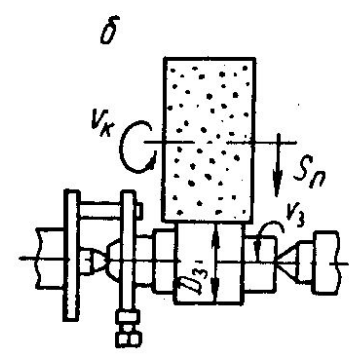
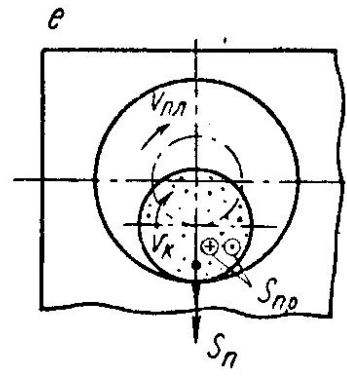
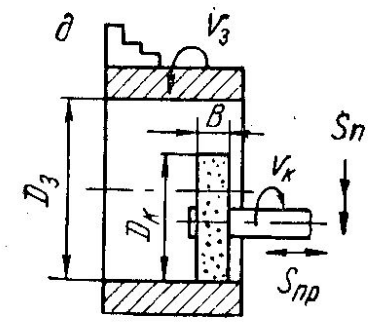
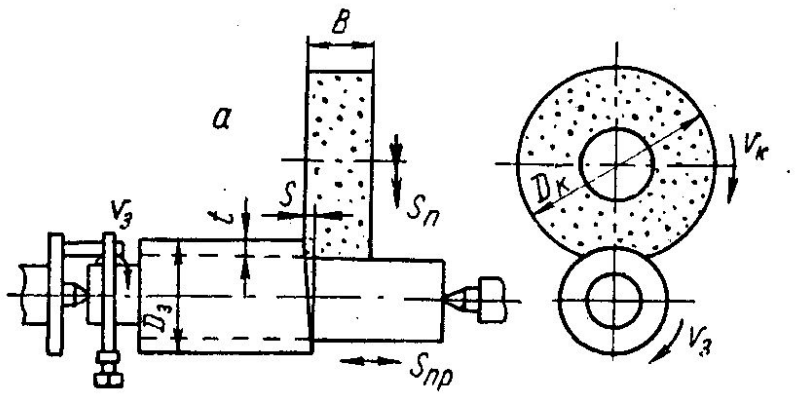
$t = 0,05 \div 0,2$ мм,

$S = 0,01 \div 0,1$ мм/об.

Рекомендации по применению инструментальных материалов для прецизионной обработки

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал
Чугун, цветные сплавы, пластмассы, порошковые материалы	Твердые сплавы: ВК2; ВК3; ВК4; ВК8
Легированные и конструкционные стали	Твердые сплавы: Т14К8; Т15К6; Т30К4; Т60К6
	Безвольфрамовые твердые сплавы: КНТ16; ТН20
Цветные сплавы, пластмассы, неметаллические материалы	Алмазы природные типа «карбонадо»: АРК4; АРВ1
Закаленные стали, высокопрочный чугун	Сверхтвердые материалы: гексагонит -Р; эльбор - Р
Закаленные стали, высокопрочный чугун при высокой жесткости технологической системы СПИД	Минералокерамика и керметы

Шлифование:



а – круглое с продольной подачей;

б - круглое врезное;

в - круглое глубинное;

г – бесцентровое;

д - внутреннее шлифование с продольной подачей;

е - внутреннее шлифование с планетарным движением шлифовального круга;

ж - плоское периферией круга с продольной подачей;

з - плоское торцом круга с продольной подачей;

и - плоское периферией круга с круговой подачей;

к - плоское торцом круга с круговой подачей

Абразивные инструменты различают

- по геометрической форме и размерам,
- роду и сорту абразивного материала,
- зернистости или размерам абразивных зерен,
- связке или виду связующего вещества,
- твердости, структуре или строению круга.

По ГОСТ 2424-75 форма поперечных сечений шлифовальных кругов и их размеры предусматривает 22 профиля и несколько сотен типоразмеров.

Маркировка шлифовальных кругах:

- абразивный материал и его марка,
- номер зернистости,
- степень твердости,
- номер структуры,
- вид связки.

Пример:

44А40С26К5 - монокорунд 44А, зернистость 40, твердость С2, структура 6, связка керамическая разновидности К5.

Параметры абразивной обработки:

- подача,
- скорость,
- глубина резания,
- параметры шлифовального круга,
- СОЖ.

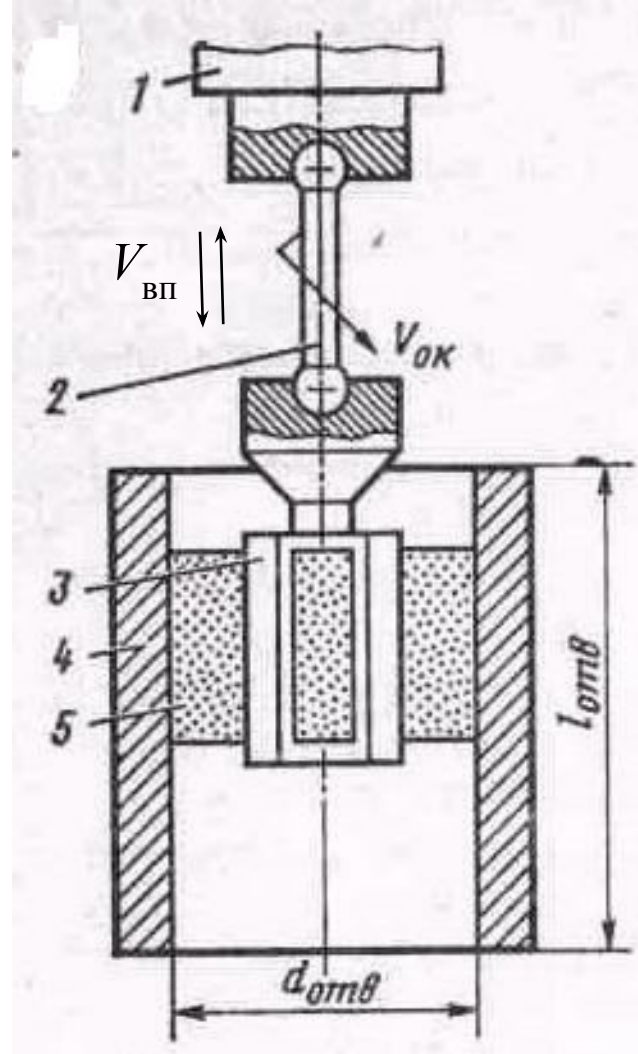
Различают шлифование:

- обдирочное,
- предварительное (черновое),
- окончательное (чистовое),
- тонкое,
- выхаживание.

Тонкое шлифование

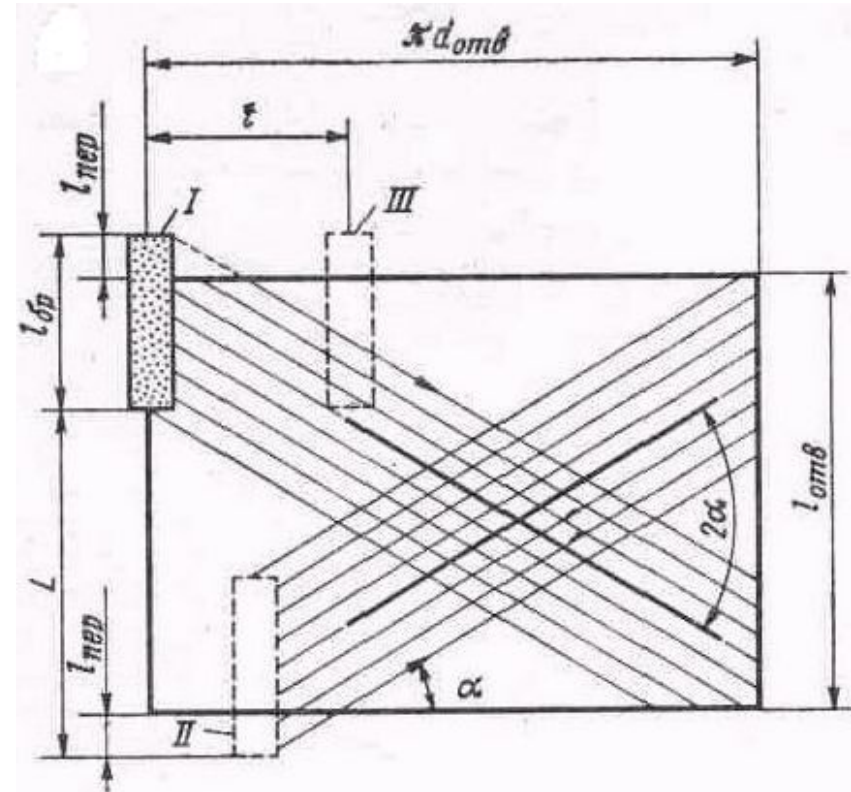
- с малыми припусками (0,04...0,08 мм на сторону),
- малыми подачами (0,005...0,1 мм/об),
- мягкими мелкозернистыми шлифовальными кругами,
- частой правкой круга,
- работа при малой окружной скорости обрабатываемой поверхности (порядка 2÷10 м/мин) и большой скорости вращения шлифовального круга (более 40 м/сек);
- с обильной подачей СОЖ с хорошей фильтрацией, чтобы исключить попадание абразива и стружки в зону шлифования;
- шлифовальные станки высокой и особо высокой жесткости и точности - классов В, А и С,
- фундаментальная фиксация обрабатываемой детали,
- длительное выхаживание

Хонингование



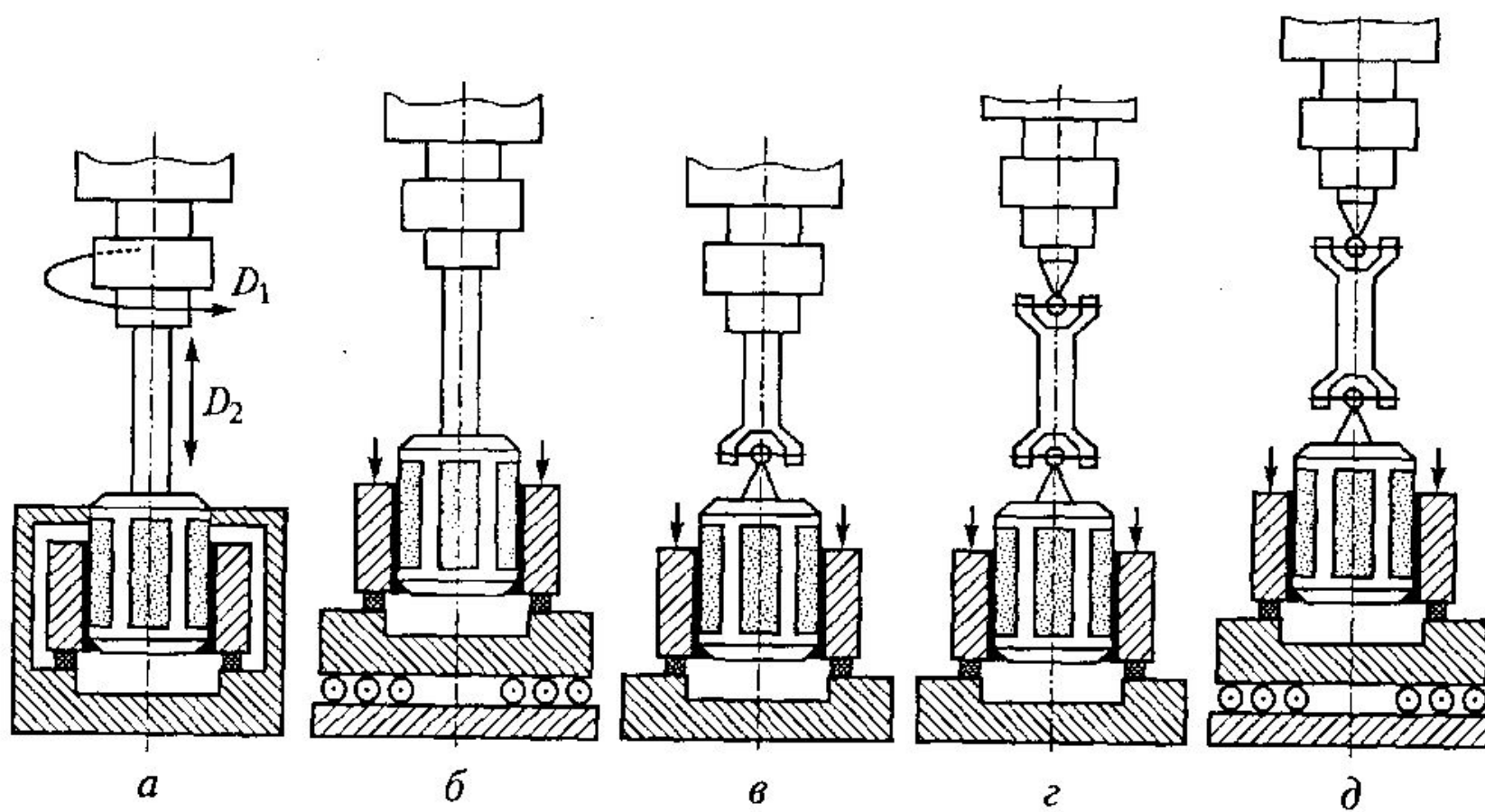
а - Схема процесса хонингования:

- 1 - шпиндель станка;
- 2 - стержень головки;
- 3 - корпус головки;
- 4 - обрабатываемая деталь;
- 5 - брусок



б - Развертка обработанной поверхности и схема образования сетки:

- 1, 2 - нижнее и верхнее положение брусков соответственно;
- 3 - смещение бруска на один шаг;
- h - перебег;
- t - шаг смещения брусков;
- 2α - угол подъема следа обработки



Схемы хонингования:

a - с двумя степенями свободы заготовки:

D_1 - главное движение;

D_2 - возвратно-поступательное перемещение хона;

б - с четырьмя степенями свободы заготовки;

в - с одношарнирным креплением хона;

г - с двухшарнирным креплением хона;

д - с двухшарнирным креплением хона и четырьмя степенями свободы заготовки

Наружный хон

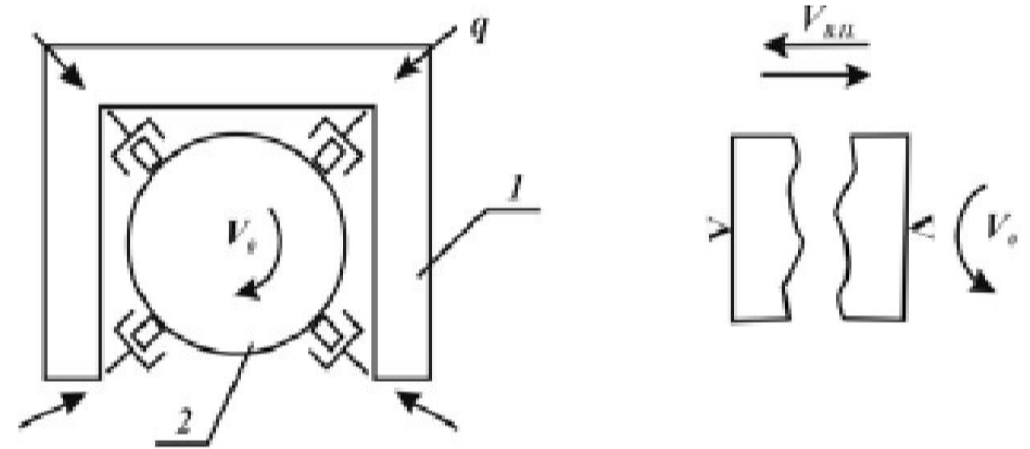
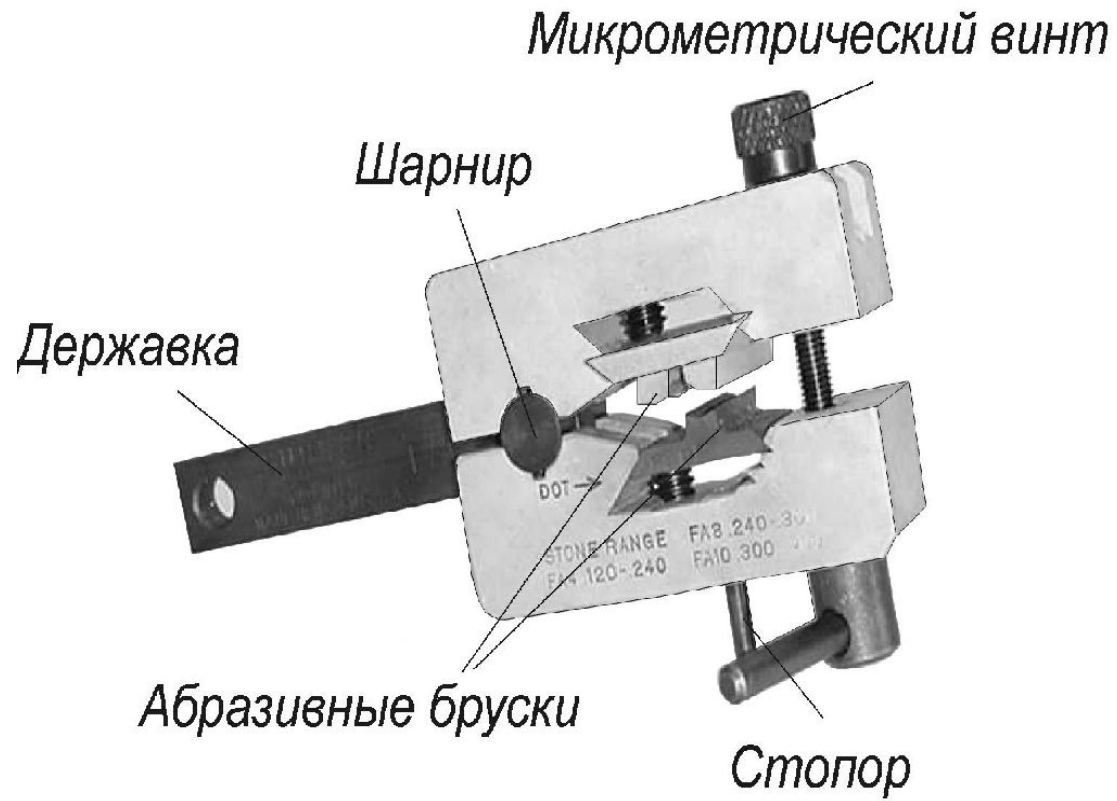
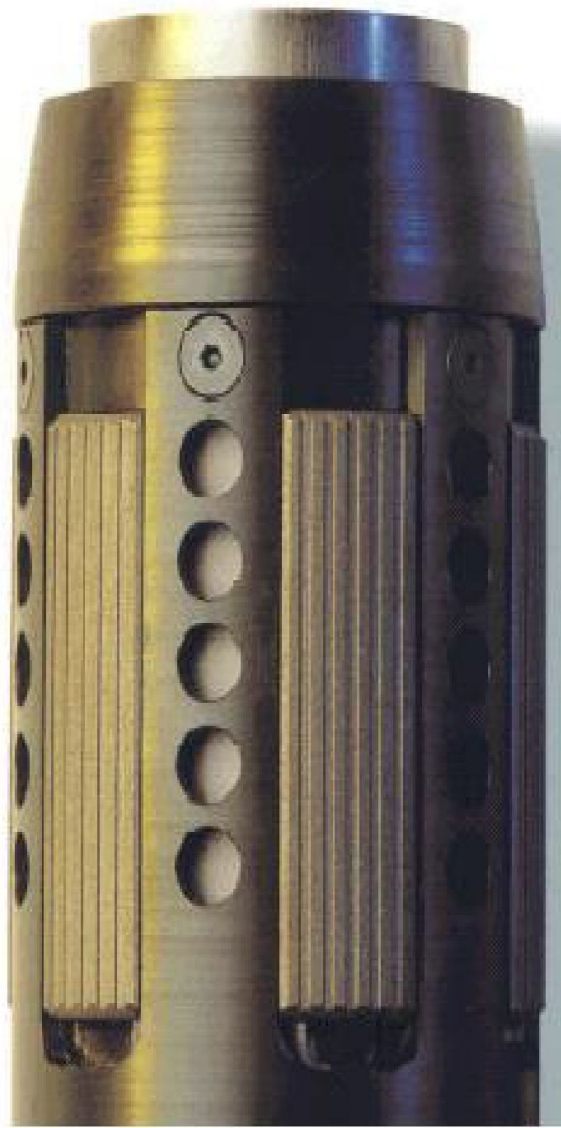


Схема хонингования наружной цилиндрической детали:

1 – инструмент;

2 – обрабатываемая деталь



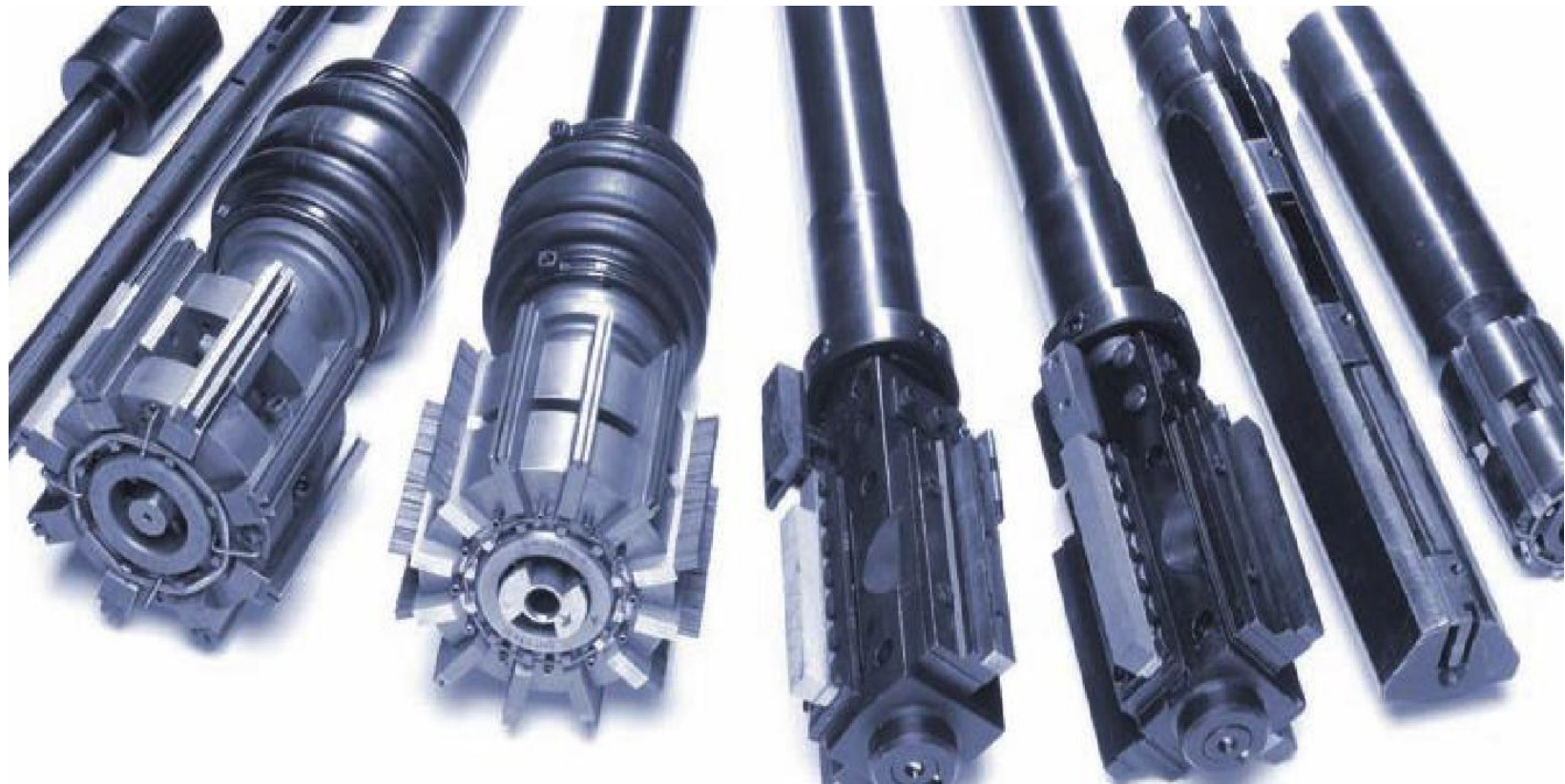
a



б

Хоны:

a - для отверстий большого диаметра;
б - для отверстий среднего диаметра



Разновидностями хонингования также являются:

- осциллирующее хонингование, при котором хонинговальной головке помимо возвратно-поступательного сообщается осевое колебательное движение до 50-300 кол./мин. и более, что обеспечивает более интенсивную обработку;
- вибрационное хонингование,
- хонингование без подачи СОЖ, так называемое сухое хонингование;
- наружное хонингование,
- электрохимическое хонингование,
- плосковершинное хонингование,
- гальваническое хонингование,
- наружное алмазное хонингование с наложением УЗК (ультразвуковое хонингование);
- плоское хонингование;
- хонингование с наложением магнитного поля и др.

Основными параметрами процесса являются

- величина припуска
- V_o - окружная скорость,
- $V_{вп}$ - возвратно-поступательная скорости движения головки,
- S_p - величина радиальной подачи брусков,
- q - удельное давление,
- зернистость брусков

Величина припуска на хонингование Z зависит

от требований по точности и качеству поверхностного слоя.

Обычно для отверстий диаметром 25...500 мм он составляет

0,02...0,2 мм - для чугунных деталей

0,01...0,08 мм - для стальных.

Припуск может быть определен по формуле:

$$Z = \frac{Ra_{и} - Ra_{х}}{100},$$

где $Ra_{и}$ и $Ra_{х}$ – шероховатости соответственно исходной поверхности и шероховатость, которую требуется получить хонингованием.

Хонингование

Величины припусков и достигаемые значения шероховатости

<i>Размер абразивных частиц, мкм</i>	<i>Удаляемый припуск, мм</i>	<i>Шероховатость при обработке мягких материалов, Ra, мкм</i>	<i>Шероховатость при обработке твердых материалов, Ra, мкм</i>
<i>315/200</i>	<i>0,03...0,13</i>	<i>2,5...3,2</i>	<i>0,63...1,25</i>
<i>200/160</i>	<i>0,03...0,1</i>	<i>1,25...2,5</i>	<i>0,25...0,63</i>
<i>80/63</i>	<i>0,01...0,08</i>	<i>0,67...1,25</i>	<i>0,2...0,32</i>
<i>50/40</i>	<i>0,01...0,05</i>	<i>0,32...0,67</i>	<i>0,11...0,32</i>
<i>40/28</i>	<i>0,001...0,013</i>	<i>0,25...0,32</i>	<i>0,08...0,25</i>
<i>14/10</i>	<i>0,001...0,008</i>	<i>0,11...0,25</i>	<i>0,05...0,11</i>
<i>3/2</i>	<i>0,0006...0,0013</i>	<i>0,08...0,11</i>	<i>0,02...0,08</i>

Скорости хонингования:

- при обработке стали окружная скорость хона $V_o = 45-60$ м/мин,
- скорость поступательного перемещения $V_{вп} = 12$ м/мин;

- при обработке относительно хрупких материалов невысокой прочности (*чугуна, бронзы и латуни, алюминиевых сплавов*): $V_o = 60-75$ м/мин и $V_{вп} = 15-20$ м/мин.

соотношение скоростей движений равно: $V_o / V_{вп} = 1,5... 10$.

Обрабатываемый материал	Предварительное хонингование		Чистовое и однократное хонингование	
	v_{OK}	$v_{ВП}$	v_{OK}	$v_{ВП}$
	в м/мин			
Чугун $HB < 250$	60—80	15—20	25—40	10—15
Сталь незакаленная $HB < 290$	30—40	8—12	25—40	5—8
Сталь закаленная	40—60	10—18	25—40	6—10
Сплавы литые и деформируемые алюминиевые	40—60	10—12	40—60	10—12
Сплавы анодированные алюми- ниевые	—	—	20—25	10—12

Скорости движения хонинговальной головки:

Окружная скорость:

$$V_0 = \frac{\pi d_{\text{отв}} n}{1000}, \text{ М/МИН.}$$

*Скорость возвратно-
поступательного движения:*

$$V_{\text{ВП}} = \frac{2Ln_{\text{дх}}}{1000}, \text{ М/МИН.}$$

*Длина рабочего хода
хонинговальной головки:*

$$L = l_0 + 2 l_{\text{пер}} - l_{\text{бр}},$$

где n , $n_{\text{д.х}}$ - соответственно число оборотов и количество двойных ходов в минуту;

$d_{\text{отв}}$ и l_0 - соответственно диаметр и длина обрабатываемого отверстия, мм;

$l_{\text{пер}}$ - величина перебега бруска за пределы отверстия, мм;

$l_{\text{бр}}$ - длина бруска, мм.

Основное время при хонинговании:

$$T_0 = \frac{l_x}{n_{\Gamma} S_{\Gamma}} \cdot \frac{a}{S_p} K_B, \quad T_0 = \frac{l_x}{V_{ВП}} \cdot \frac{a}{S_p} K_B,$$

где $l_x = l_o + 2 l_{пер} - l_{бр},$

$$n_2 S_2 = V_{вп}, \text{ мин.},$$

l_o - длина обрабатываемого отверстия, мм;

l_x - длина хода головки, мм;

$l_{бр}$ - длина абразивных брусков, мм;

$l_{пер}$ - величина перебега брусков, мм;

S_{Γ} - осевая подача головки, мм/об;

a - величина снимаемого припуска, мм на диаметр;

S_p - радиальная подача брусков, мм/об;

K_B - коэффициент выхаживания и износа брусков, равный 1,1 – 1,3;

$V_{ВП}$ - скорость возвратно-поступательного движения, мм.

Рекомендуемые режимы хонингования:

Окружная скорость V_o от 10-15 до 100-120 м/мин.

Большие значения V_o приемлемы при обработке относительно хрупких материалов невысокой прочности (чугуны, некоторые марки бронз и латуни, алюминиевые сплавы); для обработки сталей V_o обычно не превышает 20 – 35 м/мин.

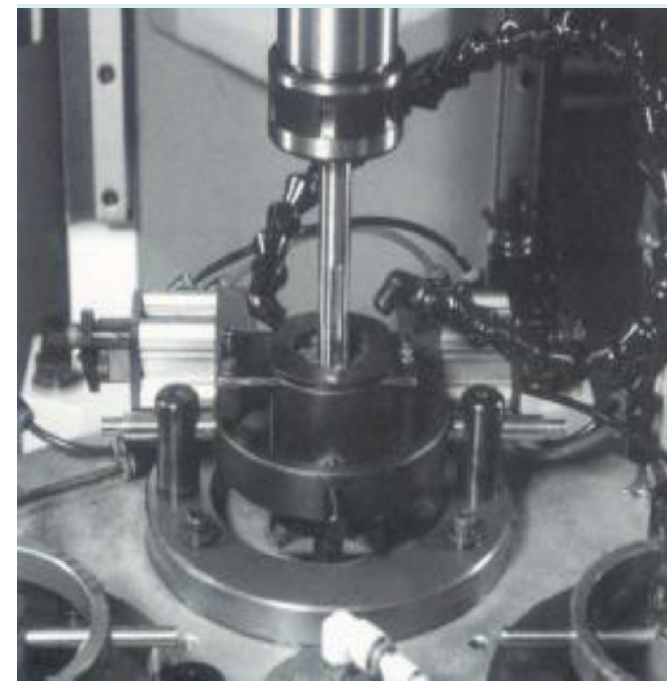
Скорость возвратно-поступательного движения $V_{вп}$ от 1-2 до 15-20 м/мин.

Радиальная подача абразивных брусков S_p от 0,1-0,3 до 2,5-3,2 мкм/об. головки

Удельное давление q может изменяться от 1,5 – 2 до 10 – 14 кгс/см²,

Зернистость абразивных брусков для хонингования М14-16. Для съёма повышенных припусков могут быть применены бруски с большей зернистостью 25 – 63 и более.

Хонинговальный станок



Суперфиниширование



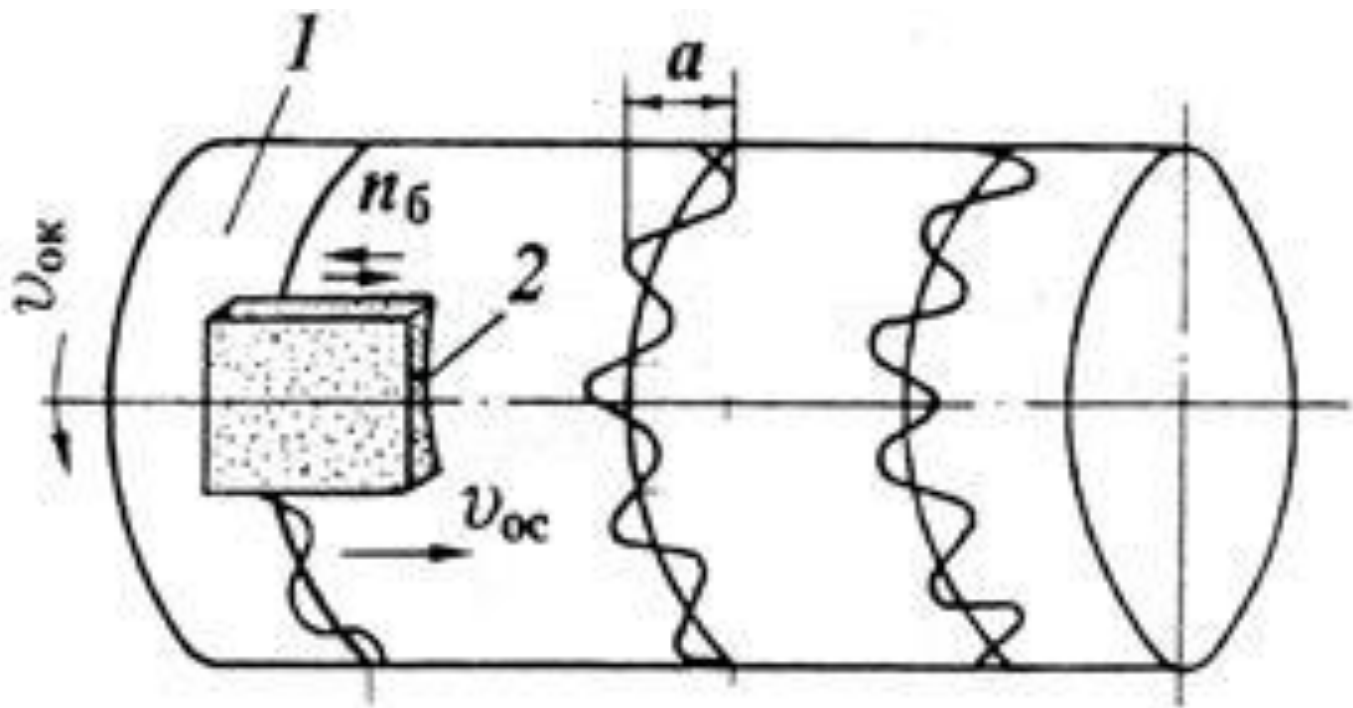


Схема процесса суперфиниширования:

1 – заготовка, 2 – брусок,

a – частота колебаний бруска;

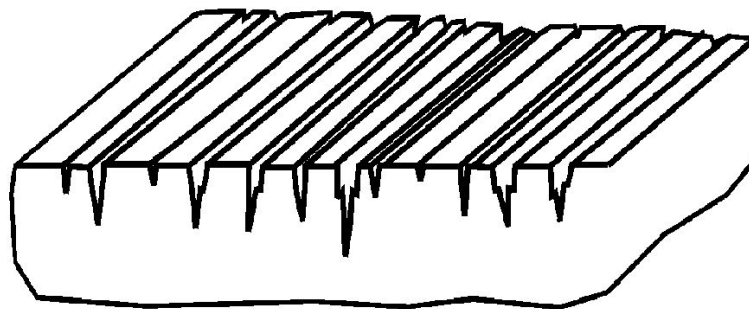
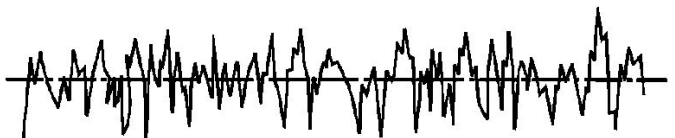
n_6 – его амплитуда;

$V_{ок}$ – окружная скорость заготовки;

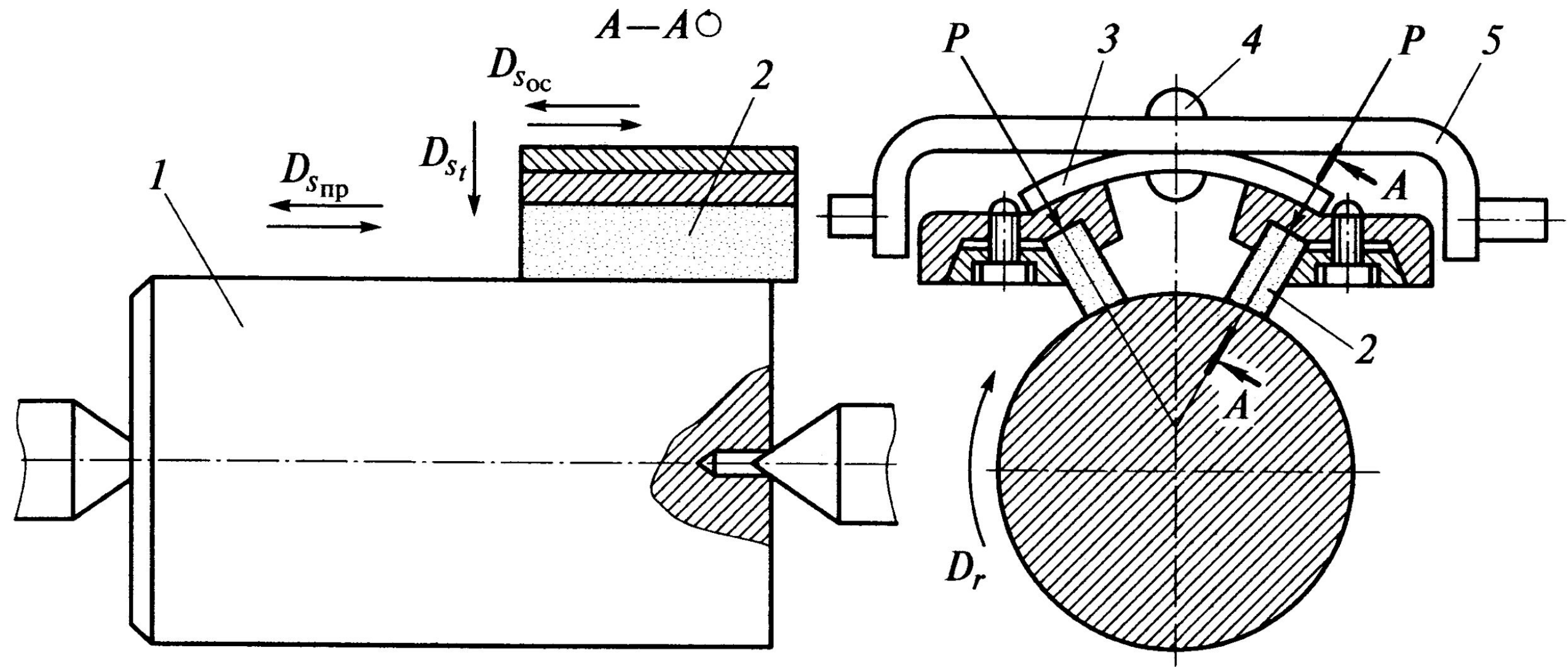
$V_{ос}$ – скорость движения осевой подачи.



Головка для суперфиниша на токарном станке



Неровности поверхности до и после суперфиниширования



Основные рабочие движениями:

- вращение детали со скоростью резания $V_3 = 3...40$ м/мин;
- возвратно-поступательное движение абразивных брусков со скоростью $V_{ВП} = 2...6$ м/мин;
- осевое колебательное движение брусков с амплитудой $A = 1...6$ мм с частотой 200...2000 двойных ходов в минуту.

Основные технологические факторы:

- режимы обработки (скорость вращения детали, величина подачи, частота и амплитуда колебаний инструмента),
- контактное давление брусков на поверхность (производится пружинами и не превышает 0,2 Мпа),
- снимаемый припуск обычно составляет до 0,03 мм,
- характеристика абразивных брусков,
- вид смазки.

Припуски на суперфиниширование

Шероховатость Ra, мкм		Припуск на сторону, мкм
исходная	требуемая	
2,5...1,25	0,63...0,32	15...20
	0,32...0,16	10...15
1,25...0,63	0,32...0,04	8...14
	0,63...0,32	4...7
	0,32...0,16	2...4

Режимы суперфиниширования

Материал обрабатываемого изделия	Ход брусков (мм)	Число двойных ходов в минуту	Средняя скорость брусков (м/мин)	Скорость вращения детали (м/мин)
Закаленная сталь	3 - 5	450 - 600	3,5	10 - 40
Остальные металлы	2,5 - 6	350 - 1000	2,6	3 - 60

Зависимость скорости продольной подачи от диаметра заготовки

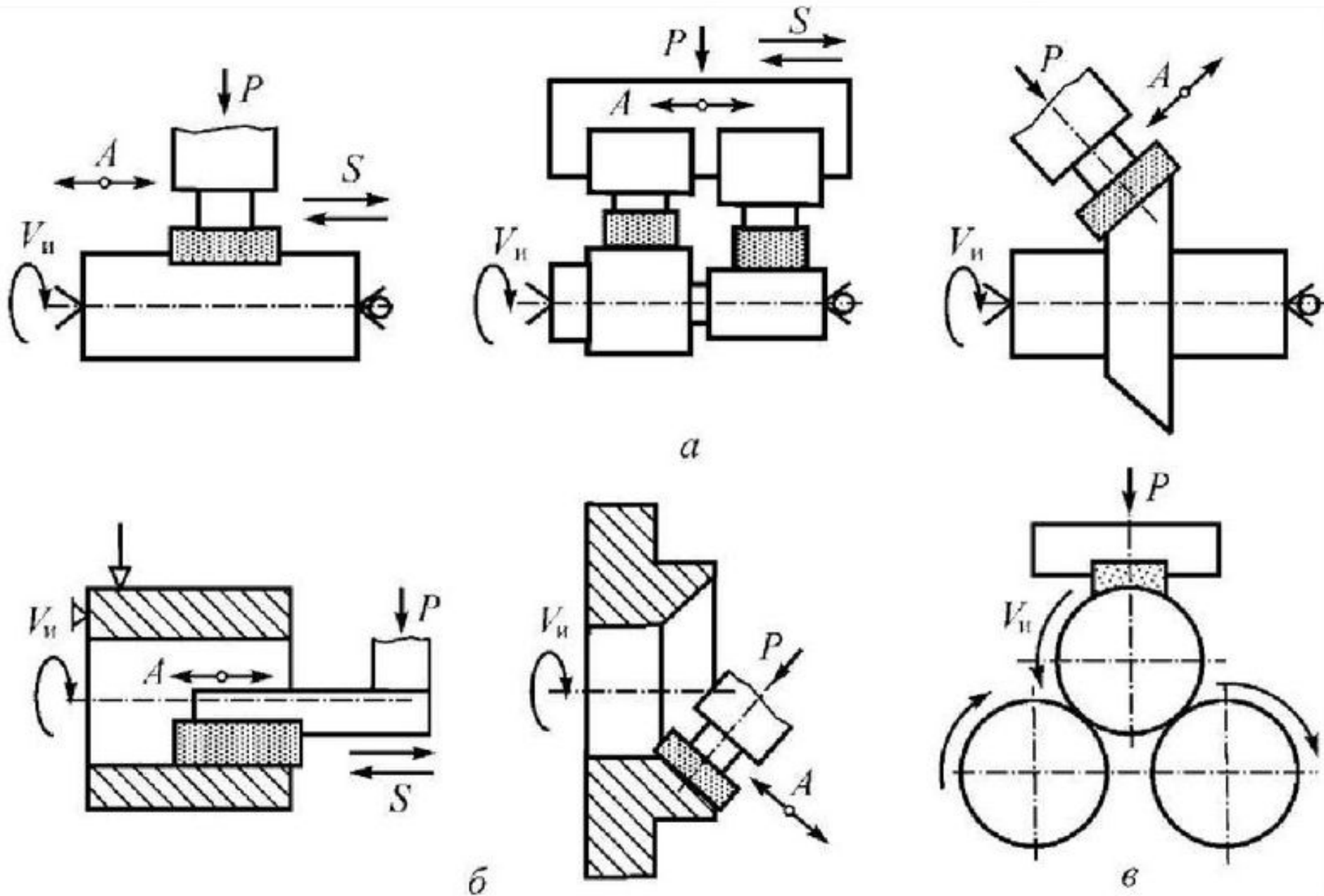
Диаметр детали, мм	1,5...3	3...10	20...30	40...60
Продольная подача, м/с	0,016...0,04	0,04...0,058	0,025...0,04	0,013...0,025

Зависимость времени обработки от частоты колебаний бруска

Частота колебаний бруска, дв.ход /мин.	400	500	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000
Коэффициент времени обработки	1,15	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,43	0,4	0,35

Выбор абразивного материала и связки брусков для суперфиниширования

Обрабатываемый материал	Абразивный материал	Связка
Стали незакаленные, цветные сплавы, нержавеющая сталь	электрокорунд белый марок 23А, 24А, 25А карбид кремния зеленый марок 63С, 64С	керамическая керамическая
Конструкционные и легированные стали закаленные	карбид кремния зеленый марок 63С, 64С	керамическая
Высоколегированные и инструментальные стали закаленные	алмаз	керамическая, бакелитовая, металлическая
Стали закаленные (окончательная обработка)	электрокорунд хромистый марок 33А, 34А карбид кремния зеленый марок 63С, 64С	керамическая бакелитовая с графитом
Твердые сплавы, керамика	эльбор	керамическая
Чугун, цветные металлы	карбид кремния зеленый марок 63С, 64С	керамическая

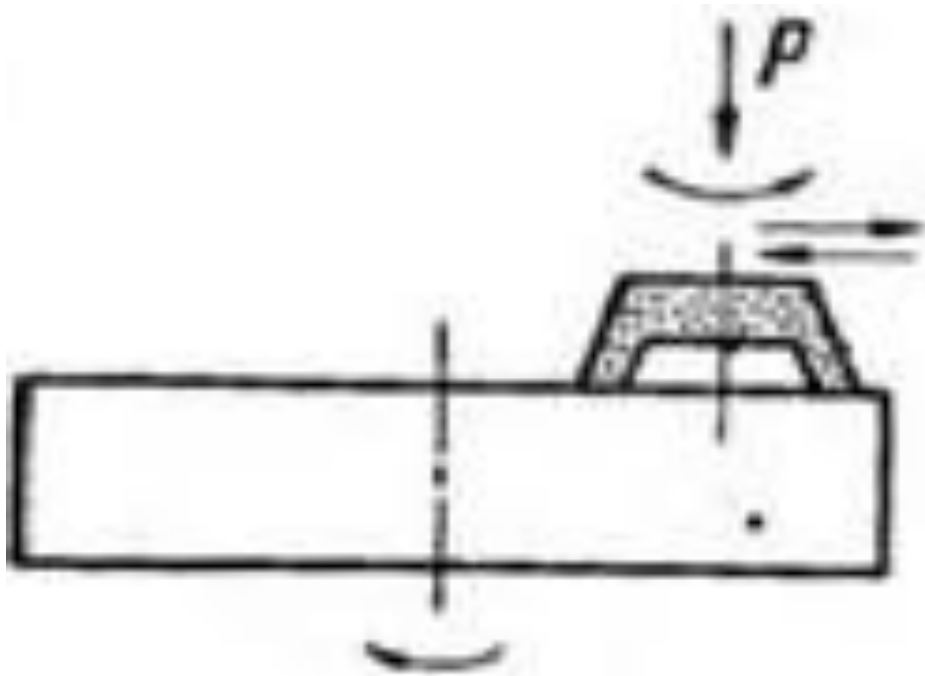


**Схемы суперфиниша
абразивными
брусками:**

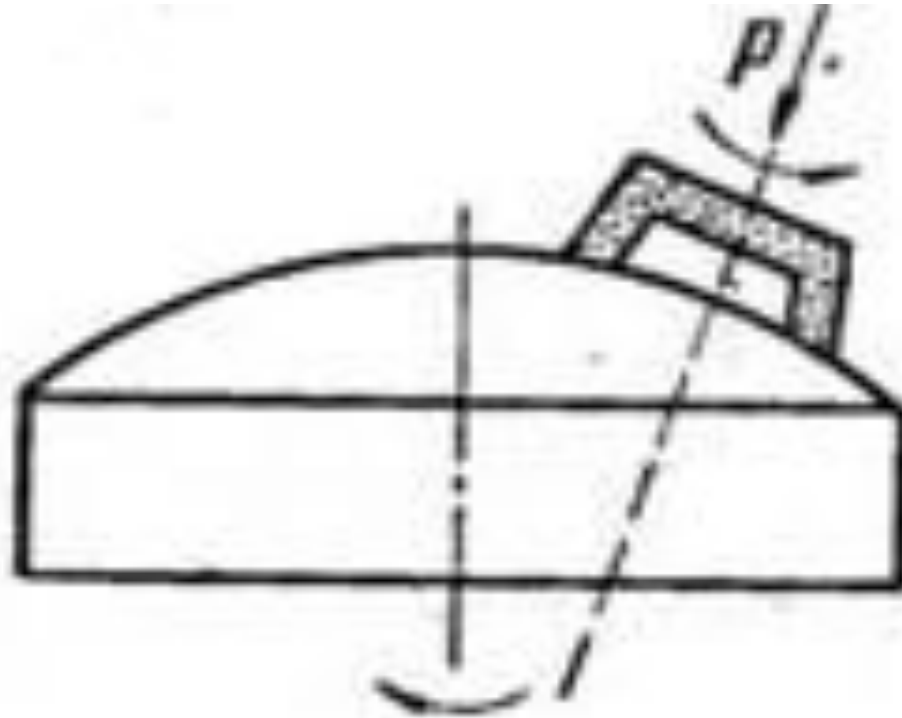
а – наружных
поверхностей;

б - внутренних
поверхностей;

в – бесцентровое
суперфиниширование



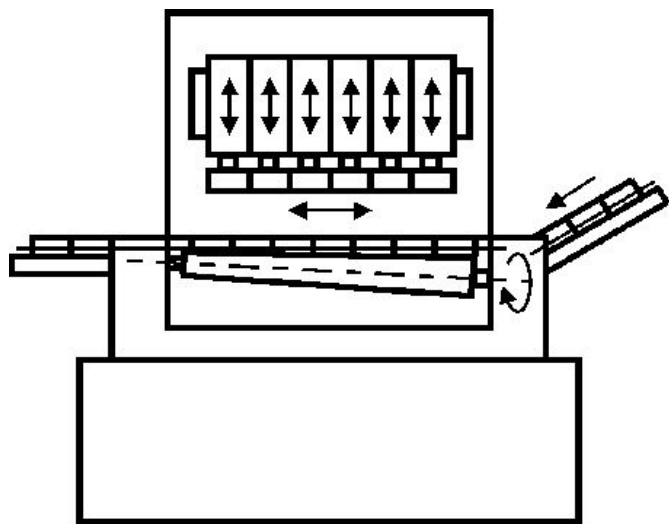
а



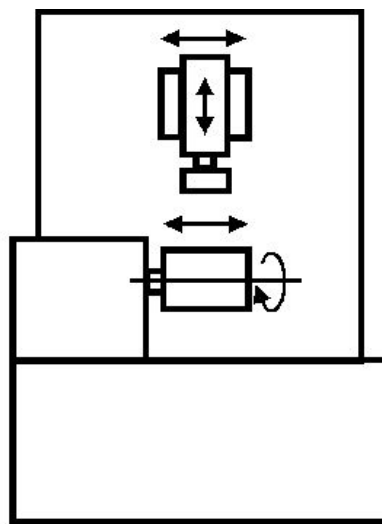
б

а - торцевое суперфиниширование вращающимся чашечным кругом;

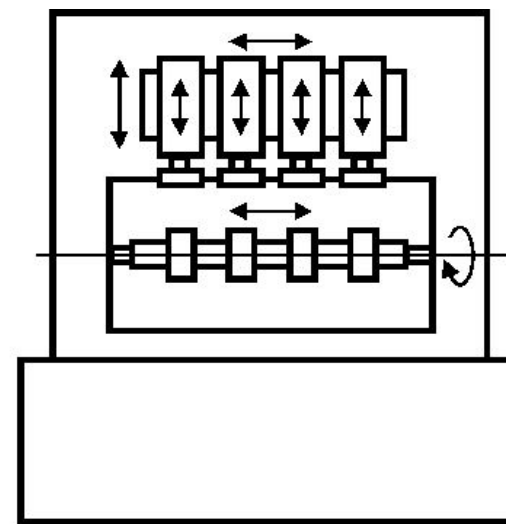
б - суперфиниширование сферических поверхностей вращающимся чашечным кругом,
ось которого наклонена под углом к оси вращающейся детали



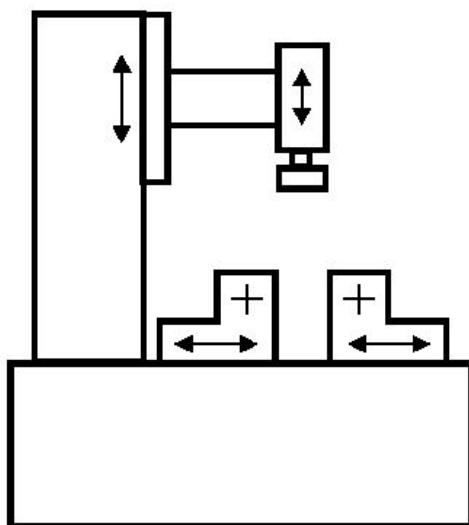
a



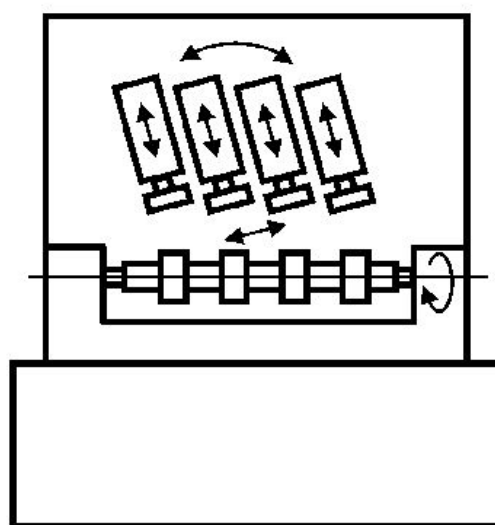
б



в



г



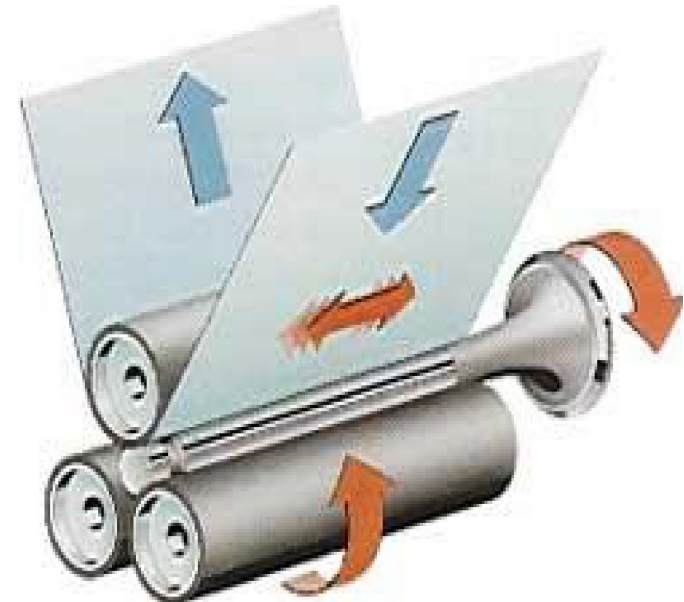
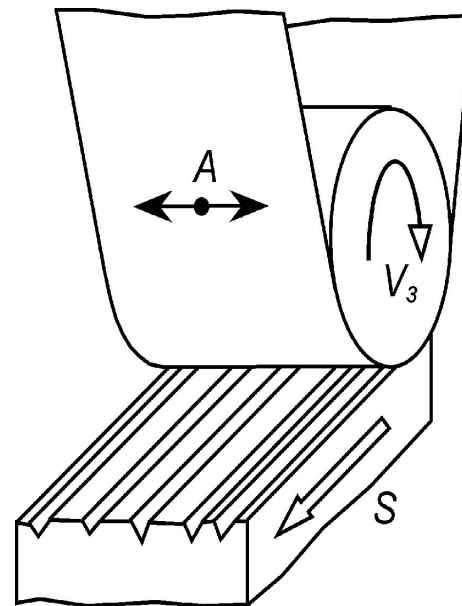
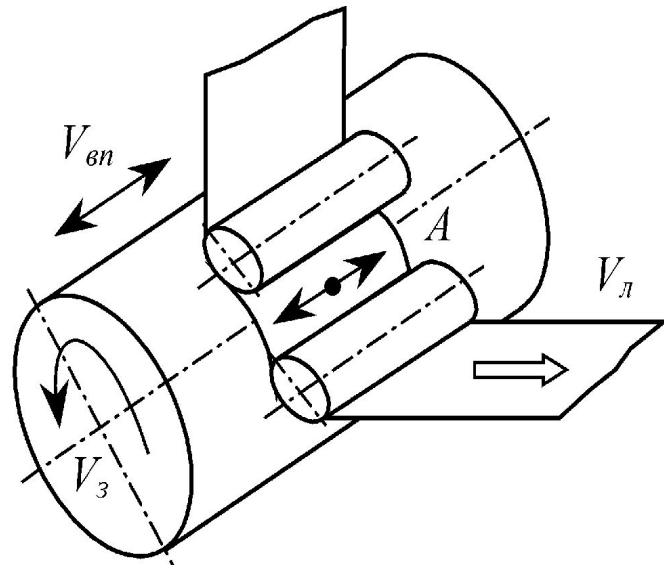
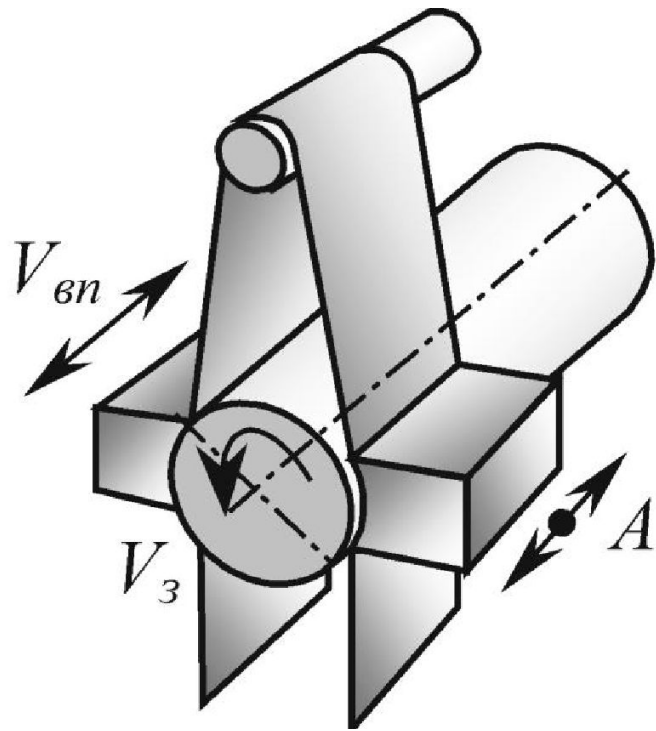
д

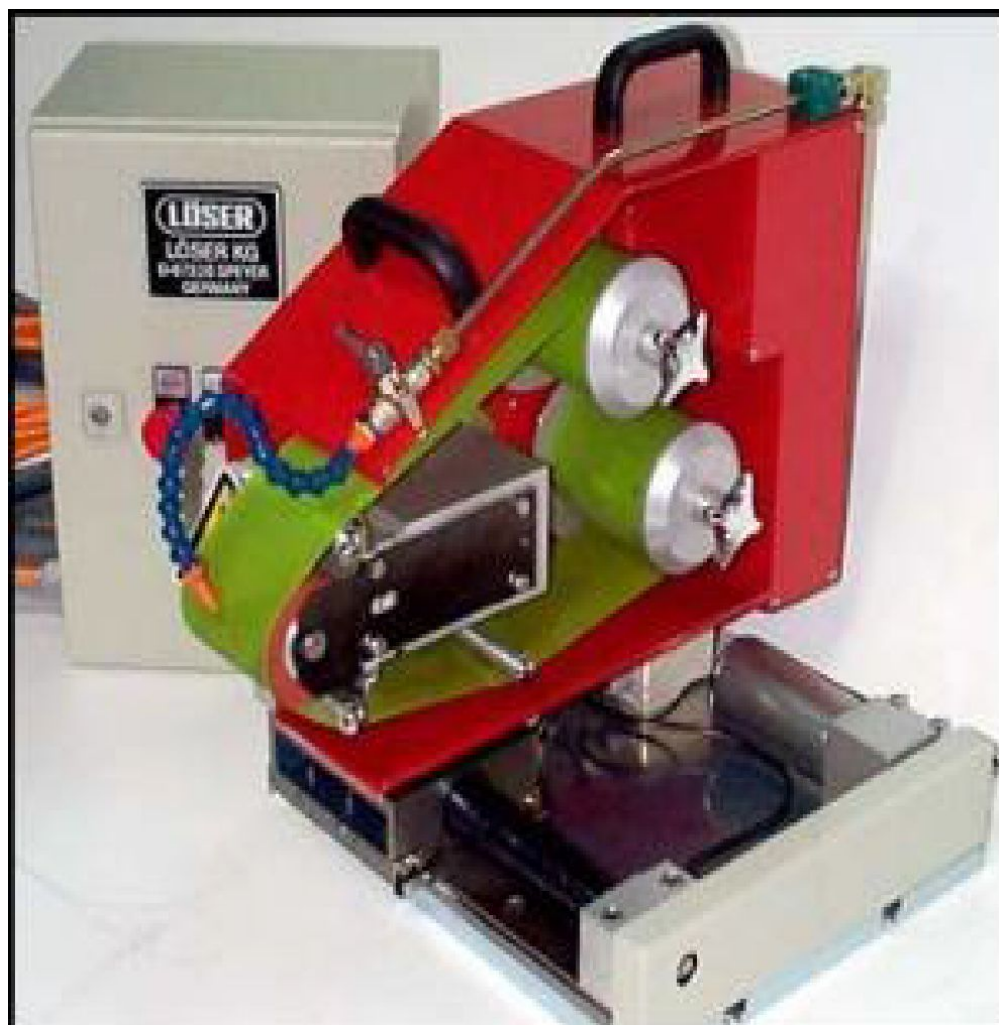
**Схемы компоновок
бесцентровых
суперфинишных станков:**
a - станок непрерывного действия (напроход),
б - суперфиниширование резанием однопозиционные,
в - суперфиниширование резанием многопозиционные,
г - позволяет производить разгрузку заготовок вниз (один или оба валка имеют возможность перемещаться в горизонтальной плоскости),
д - абразивный инструмент совершает возвратно-поступательное перемещение по дуге окружности

Параметр	Модель станка				
	Обработка напроход			Обработка врезанием	
	ЗД878	ЗД879	ЗД880	ЗД873	ЗД879Б
Диаметр обрабатываемого изделия, мм	1,5-32	8-60	10-125	3-50	8-125
Расстояние от основания станка до оси валков, мм	1060				
Диаметр валков, мм	45,65,100	100	130	85	85-200
Рабочая длина валков, мм	400, 550	550	750	100-300	500
Число инструментальных головок	4-6	6	6	1-4	6
Продольное перемещение брусков вдоль оси валков, мм	-			5-50	
Скорость продольного перемещения брусков вдоль оси валков, м/мин	-			0,5-3	
Частота колебаний брусков, дв.ход/мин	100, 1500, 1900				
Ход бруска при колебании, мм	0,5-5				
Пределы частоты вращения валков, мин ⁻¹	67-670, 54-540, 30-300	30-300	30-300, 60-600	30-630	30-300
Скорость подачи изделия, мм/мин	0,05-0,092		0,033-0,21 7	-	
Усилие прижима брусков, Н	до 400	до 750	до 400	до 750	
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	3,63	7,83	1,91	3,88	
Габаритные размеры с приставными агрегатами, мм	1170× 1370× 1580	1650× 1730× 1540	1150× 1250× 1540	1730× 1330× 2070	
Масса, т	1,44	2,38	1,1	1,94	

Технические характеристики бесцентровых суперфинишных станков

Суперфиниш абразивными лентами





Суперфиниш абразивными лентами



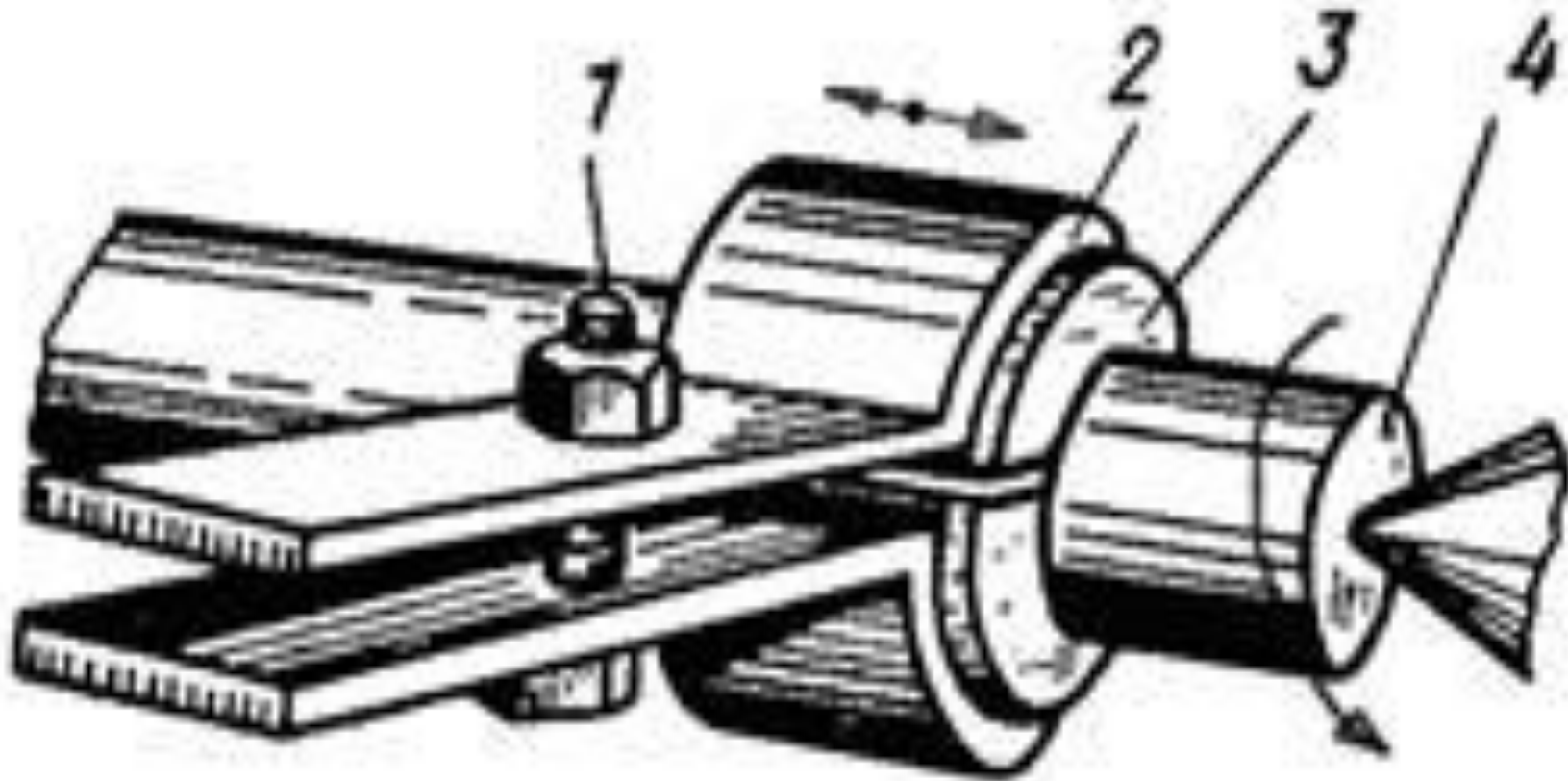


Схема притирки цилиндрической поверхности вручную на токарном станке:

- 1 - болт;
- 2 – металлический жимок;
- 3 - втулка;
- 4 – обрабатываемая деталь

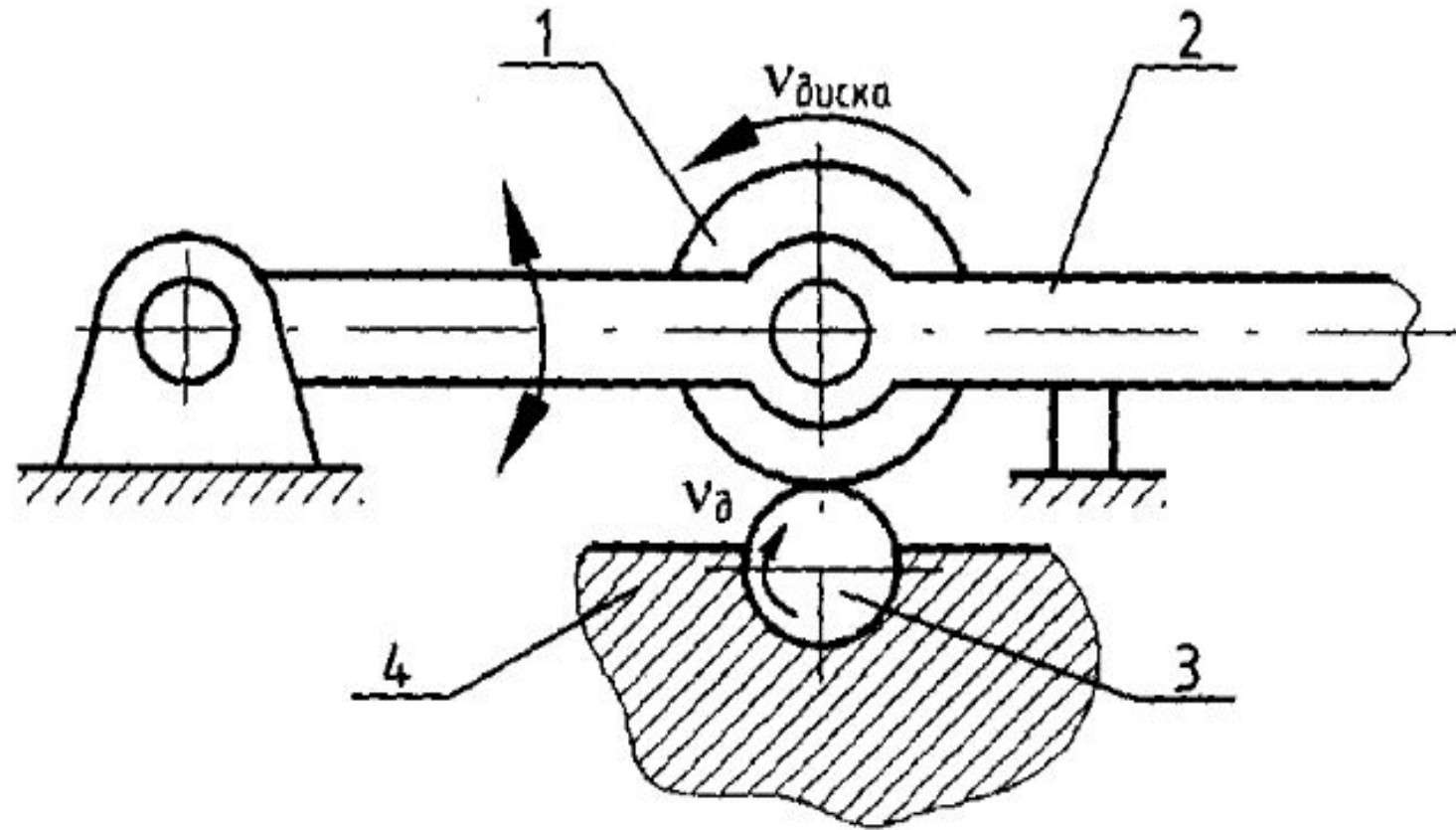


Схема притирки цилиндрической поверхности твердосплавным диском:

- 1 - твердосплавный диск;
- 2 – качающийся рычаг;
- 3 – деталь;
- 4 - люнет.

Доводка

**Припуск на обработку на сторону назначается
в зависимости от требуемых параметров качества обработки:**

- предварительная доводка: припуск 0,02...0,05 мм, достигаемая точность обработки (отклонение от требуемой формы поверхности) 3...5 мкм, параметр шероховатости $Ra = 0,63...0,16$ мкм;
- получистовая доводка: припуск 0,005 ... 0,015 мм, точность обработки 1...2 мкм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,08$ мкм;
- чистовая доводка: припуск 0,002...0,005 мм, точность обработки 0,5...1 мкм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,08...0,02$ мкм;
- тонкая доводка: припуск 0,0002...0,001 мм, точность обработки 0,1...0,5 мкм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,02...0,005$ мкм.

Производительность доводки (скорость удаления материала)

зависит от факторов:

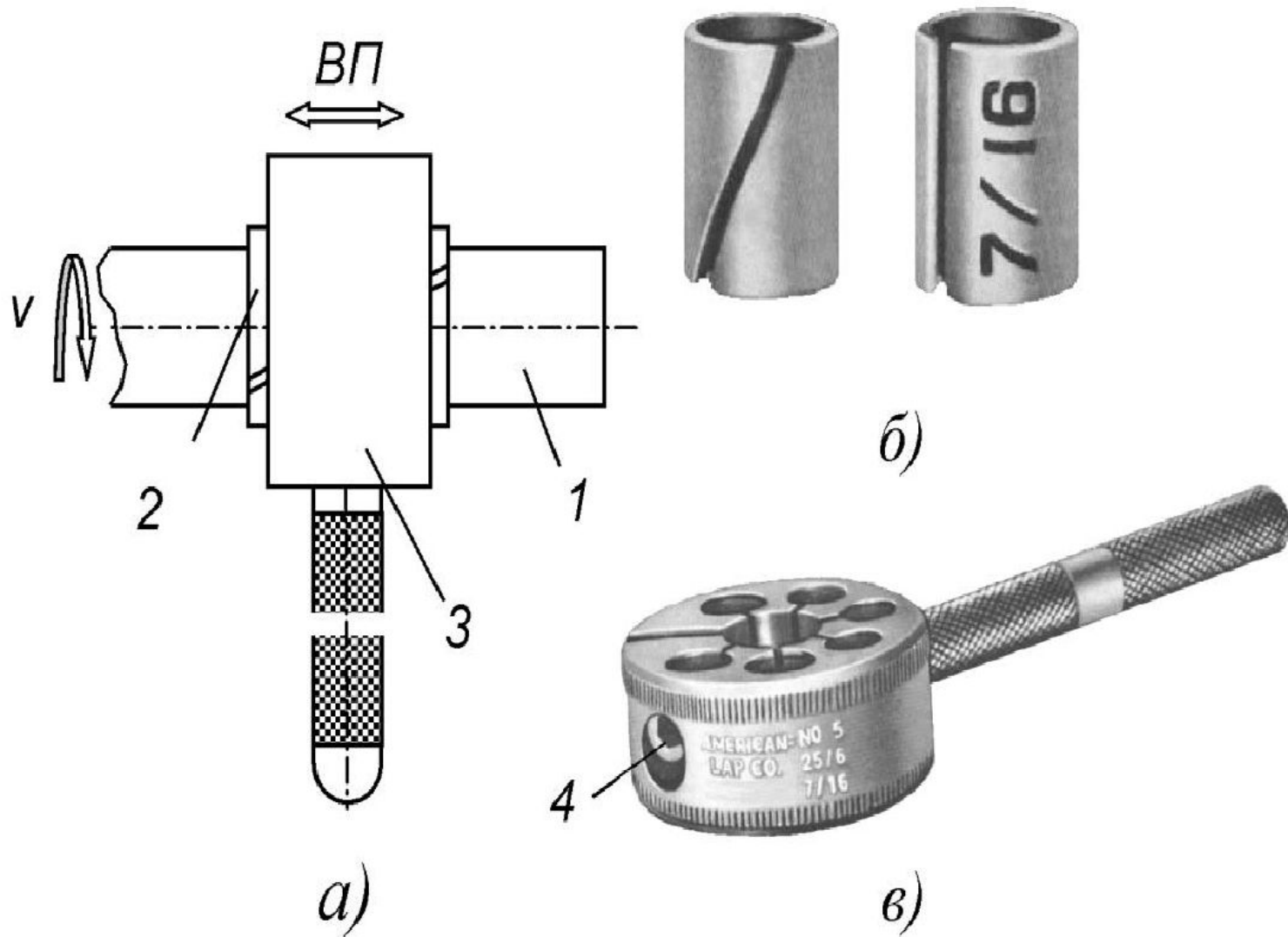
- размер абразивных частиц их форма и механическая прочность,
- физико-механические свойства материала притира,
- физико-механические свойства материала обрабатываемой детали,
- скорость и траектория перемещения притира относительно обрабатываемой поверхности,
- сила прижатия притира к поверхности,
- номинальная площадь контакта притира с поверхностью,
- условия выхода продуктов разрушения,
- вид и состав смазочной среды.

Применяемые при притирке абразивные материалы подразделяют на три группы:

1. высокой твердости - электрокорунд, карбокорунд, карбид кремния, карбид бора, кубический нитрид бора, алмаз;
2. средней твердости - полевой шпат, гранат, пемза, окись хрома;
3. низкой твердости - мел, тальк, каолин, венская известь, доломит, трепел.

Доводка (притирка)

<i>Последовательность операций</i>	<i>Точность обработки, мкм</i>	<i>Шероховатость поверхности, Ra, мкм</i>	<i>Размер зерен абразива, мкм</i>	<i>Удаляемый припуск, мкм</i>
<i>Одна операция</i>	<i>3,0...5,0</i>	<i>0,08...0,16</i>	<i>40/28, 28/20</i>	<i>30...50</i>
<i>Две операции:</i>	<i>1,0...2,0</i>	<i>0,04...0,08</i>		<i>35...60</i>
<i>- предварительная</i>			<i>40/28, 28/20</i>	<i>30...50</i>
<i>- окончательная</i>			<i>20/14</i>	<i>5...10</i>
<i>Три операции:</i>	<i>0,2...0,5</i>	<i>0,02...0,04</i>		<i>37...63</i>
<i>- предварительная</i>			<i>40/28, 28/20</i>	<i>30...50</i>
<i>- промежуточная</i>			<i>20/14</i>	<i>5...10</i>
<i>- окончательная</i>			<i>14/10</i>	<i>2...3</i>
<i>Четыре операции</i>	<i>0,1...0,2</i>	<i>0,006...0,02</i>		<i>37,5...64</i>
<i>- предварительная</i>			<i>40/28, 28/20</i>	<i>30...50</i>
<i>-1 промежуточная</i>			<i>20/14</i>	<i>5...10</i>
<i>-2 промежуточная</i>			<i>10/7</i>	<i>2...3</i>
<i>- окончательная</i>			<i>5/3</i>	<i>0,5...1</i>



Ручная доводка наружных поверхностей вращения:

a – базовая схема;

б – притиры;

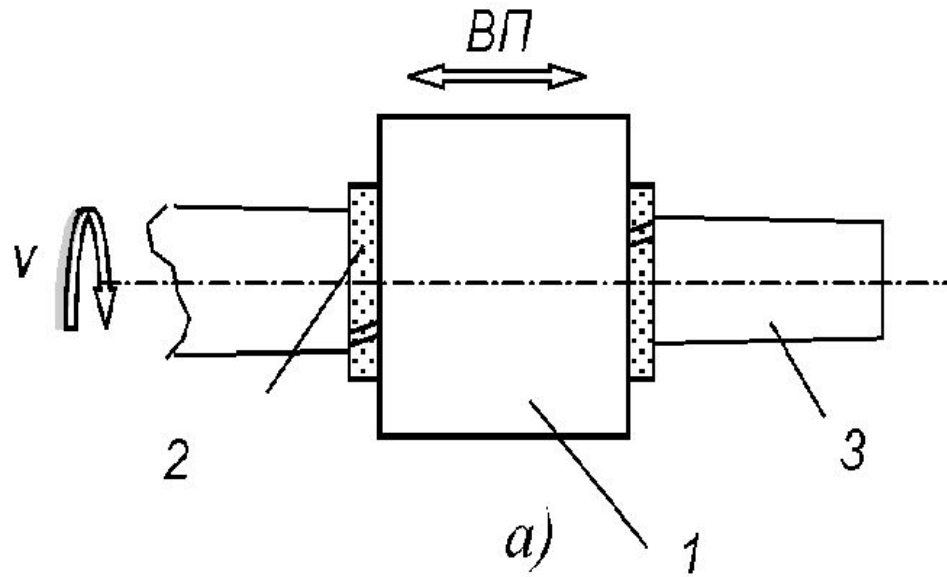
в – державка;

1 – обрабатываемая поверхность;

2 – притир;

3 – державка;

4 – винт затяжки притира



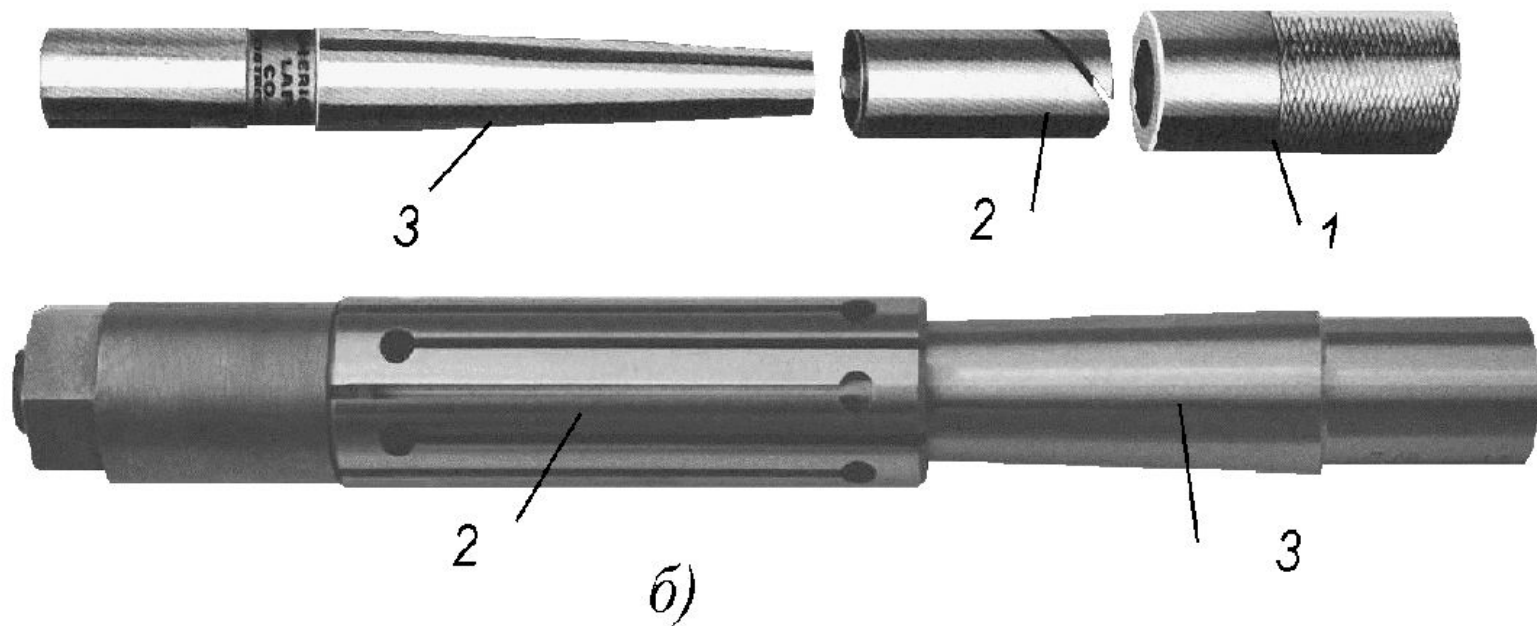
Ручная доводка поверхностей отверстий:

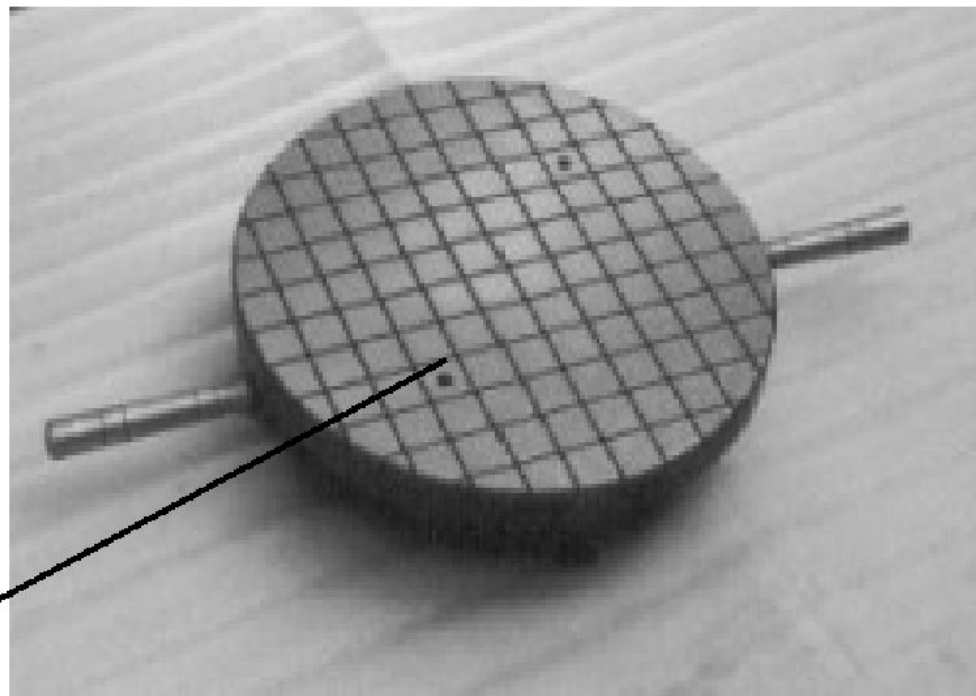
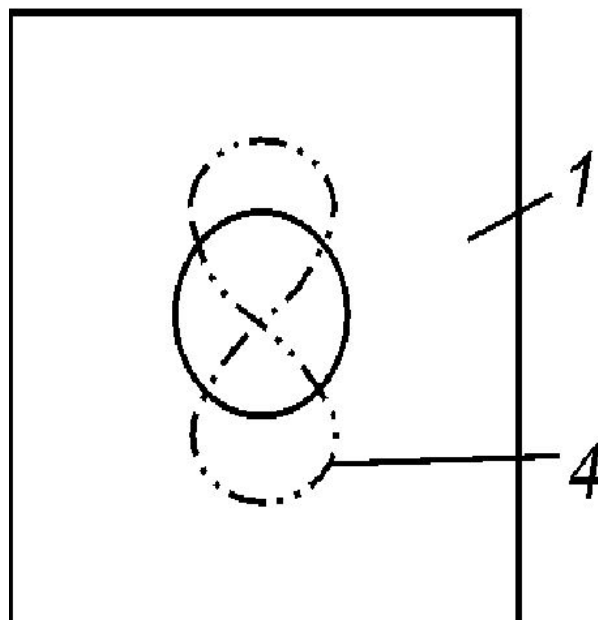
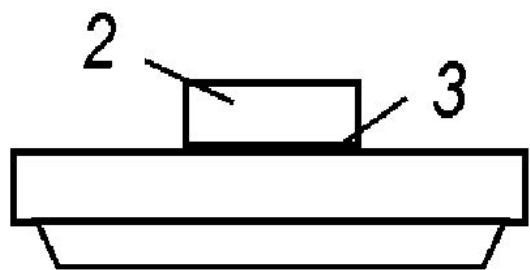
а – базовая схема;
б, в – конструкции
притиров;

1 – обрабатываемая
деталь;

2 – притир;

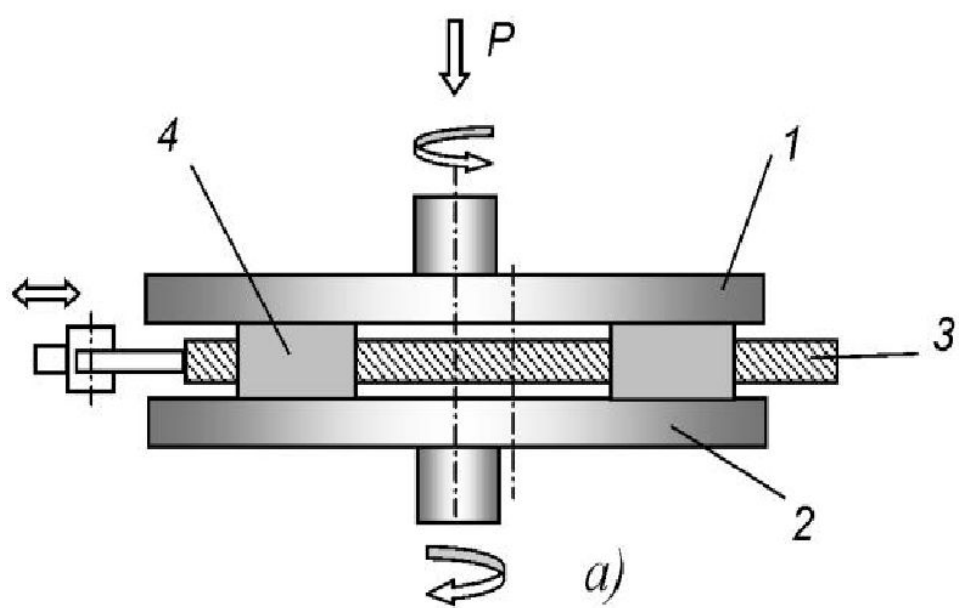
3 – коническая оправка





Ручная доводка плоских поверхностей:

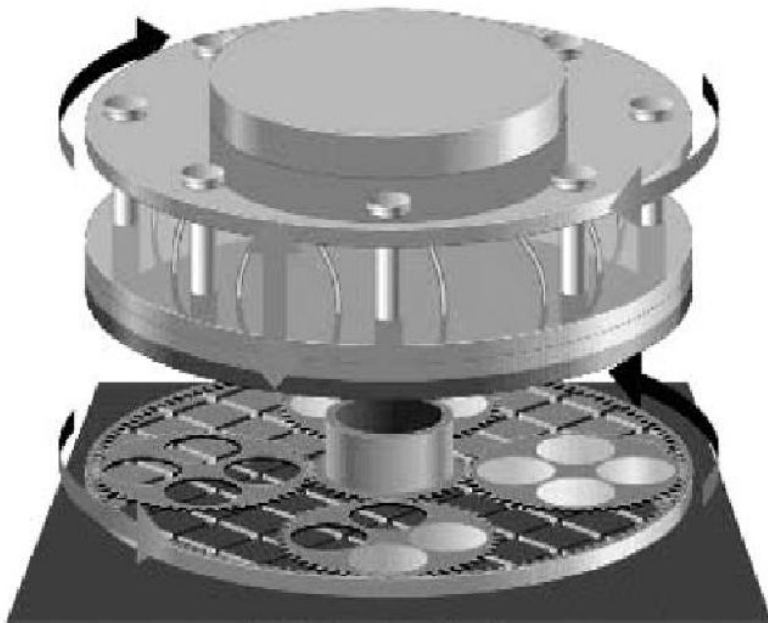
- 1 – притирочная плита;
- 2 – деталь;
- 3 - абразивная суспензия;
- 4 – траектория перемещения детали



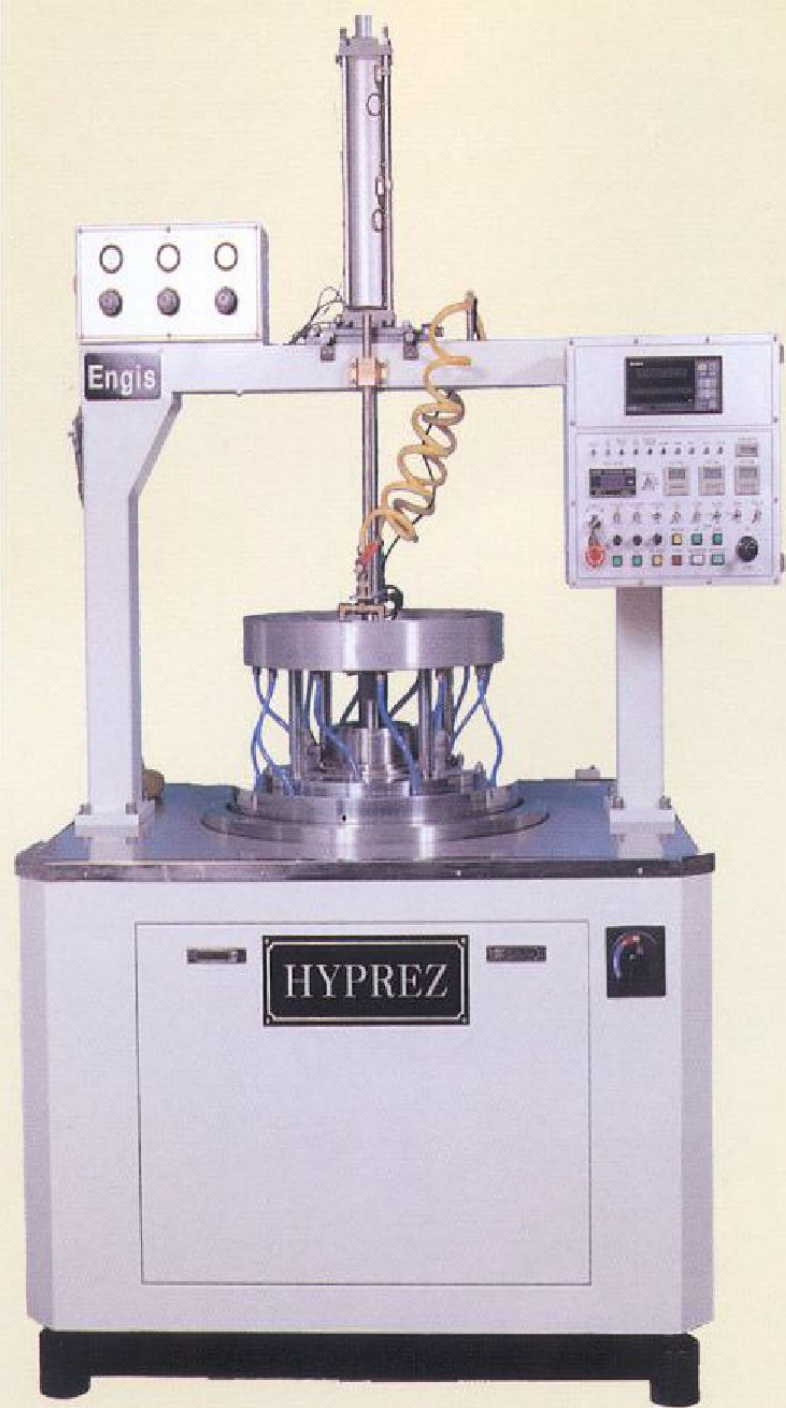
**Схемы машинной доводки
плоских деталей:**

a – с возвратно-
поступательным движением
сепаратора;

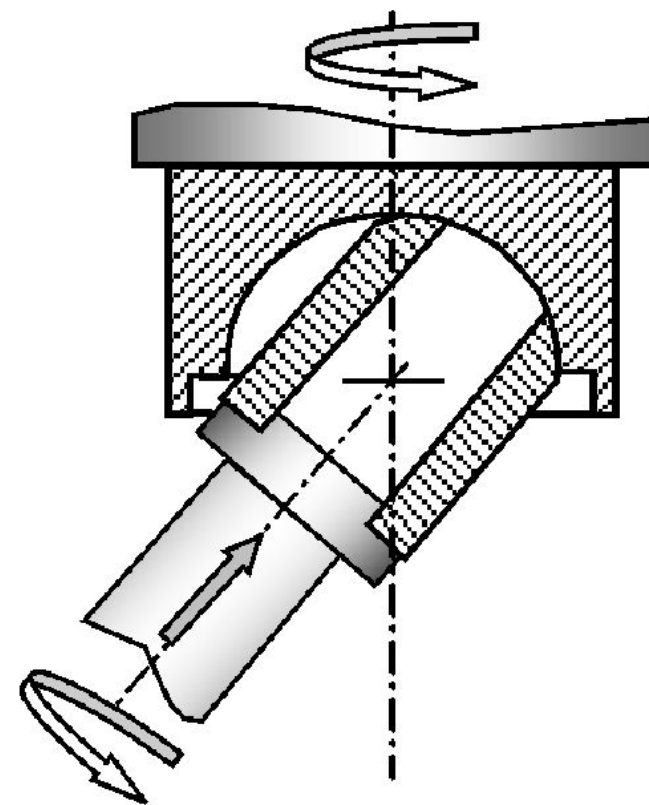
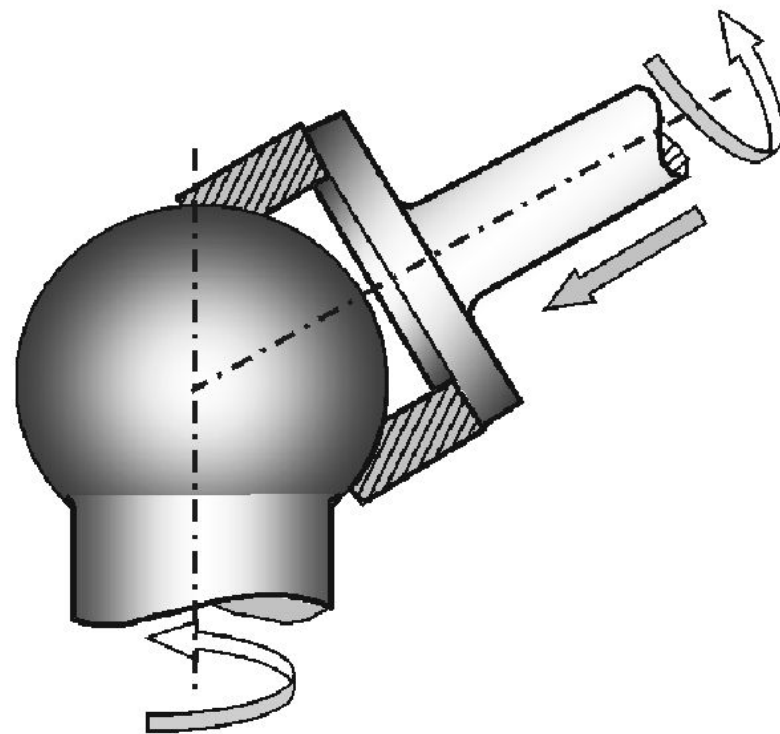
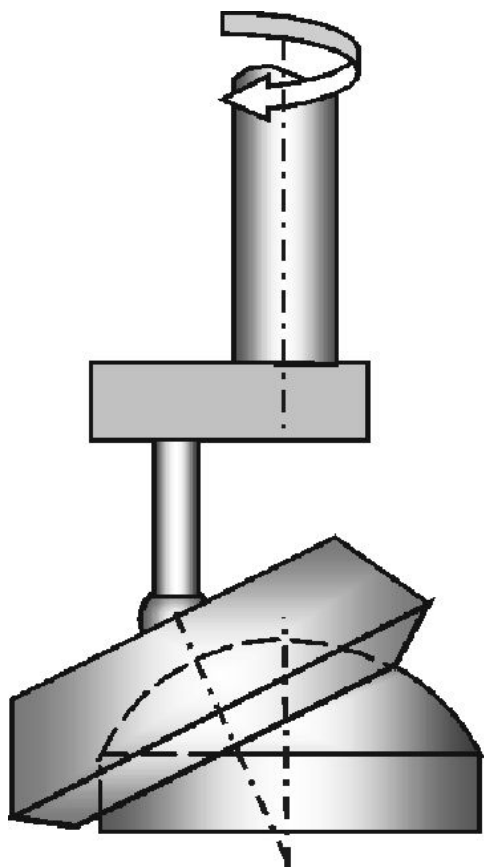
б – планетарного типа

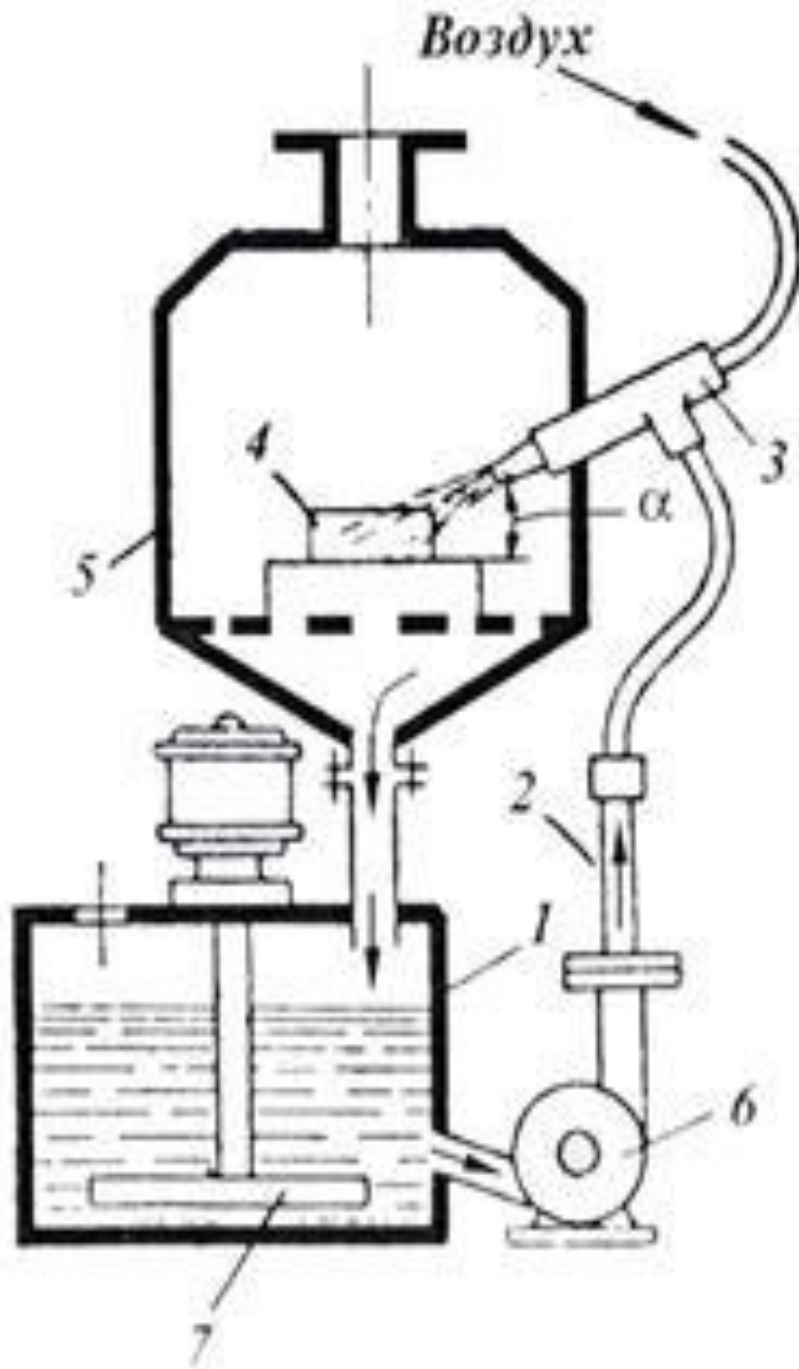


б)



Схемы машинной доводки сферических поверхностей

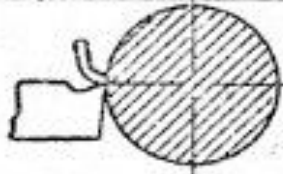
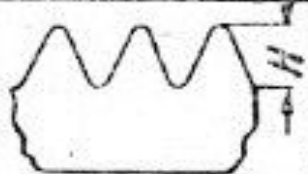
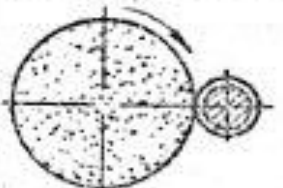
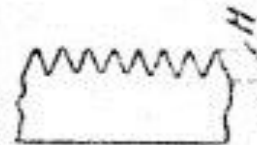
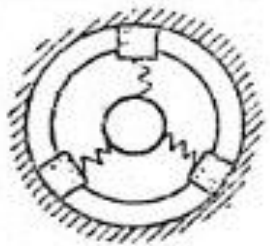
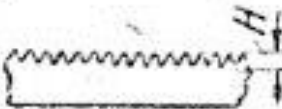

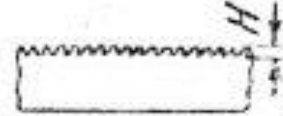

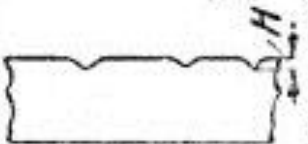




**Схема
струйно-абразивной установки:**

- 1 – бак,
- 2 – трубопровод,
- 3 - струйный аппарат,
- 4 – заготовка,
- 5 - герметичная камера,
- 6 - насос,
- 7 - устройство для размешивания смеси с отдельным приводом.

Сравнительные данные различных способов чистовой обработки поверхностей

	Метод обработки	Температура резания	Качество поверхности	Высота зерна R_a	Скорость м/мин	Давление кг	Температура $^{\circ}C$
Обточка		330-550		1,3-13,0	15-150	45-450	300-500
Шлифование		330-440		0,9-5,0	15-30	10-100	300-400
Хонинг		55-165		0,13-1,3	120-300	20-100	50-150
Притирка Пластины		6-55		0,08-0,25	6-30	0,5-25	5-50
Суперфиниш				0,02-0,25	10-2,5	0,5-5,0	Нормальная

Метод обработки поверхности		Достижимый кавалитет	Шероховатость, Ra
Точение	черновое	12-14	50-6,3
	получистовое	11-13	25-1,6
	чистовое	8-10	6,3-0,4
	тонкое	6-9	1,6-0,2
Шлифование	предварительное	8-9	6,3-0,4
	чистовое	6-7	3,2-0,2
	тонкое	5-6	1,6-0,1
Притирка, суперфиниширование		4-5	0,8-0,1

ПОЛИРОВАНИЕ





а



б



в



г



д



е

Способы полирования:

а – вручную на круге; *б* - вручную куском ткани; *в* – вручную на полировальной ленте;
г, д – на станке внутренние и внешние поверхности вращения; *е* – бесцентровое полирование

Виды полирования

- Ручное полирование (в единичном производстве и при ремонтных работах).
- Ручное полирование с применением полировальных кругов (мелкосерийное и единичное производство).
- Машинное полирование (серийное и крупносерийное производства, полирование точное и уникальное).
- Гидроабразивное полирование (крупносерийное и массовое производство).
- Магнитно-абразивное полирование (мелкосерийное и серийное производство).
- Ультразвуковое полирование (среднесерийное производство, полирование твердых сплавов).
- Электролитическое полирование (массовое производство).
- Химико-механическое полирование (обработка твердых сплавов на кобальтовой связке).
- Ионно-плазменное полирование (в единичном производстве).

Абразивные материалы для полирования:

- Алмаз (скоростное полирование, полирование твердых материалов).
- Карбид кремния (титан).
- Карбид титана (полирование сталей и медных сплавов).
- Карбид циркония (полирование нержавеющей и специальных жаропрочных сплавов).
- Борид гафния (изредка при полировании твердых сплавов).
- Нитрид титана (различные материалы).
- Корунд (металлы).
- Оксид хрома (Cr_2O_3) - применяют при обработке цветных и черных металлов (пасты ГОИ).
- Окись церия (полирование зеркальных и оптических стекол).
- Диоксид титана (полирование цветных металлов и стекла).
- Мел (полирование цветных металлов).
- Крокус (бронза, латунь, медь, серебро, золотые сплавы).
- Сурик (медные сплавы, мягкие стали).
- Диоксид олова (ювелирные изделия)
- Полирит - содержит до 97% окислов редкоземельных элементов-применяют для полировки стекла и полупроводниковых материалов.
- Аэросил – чистая двуокись кремния.
- Полировальный порошок «Элплаз»

Вспомогательные вещества при проведении полирования выполняют **функции**:

- Удержание режущих зерен.
- Охлаждение.
- Химическое разрушение обрабатываемого материала (снятие окисных пленок).
- Физическое ускорение разрушения.

Вспомогательные вещества:

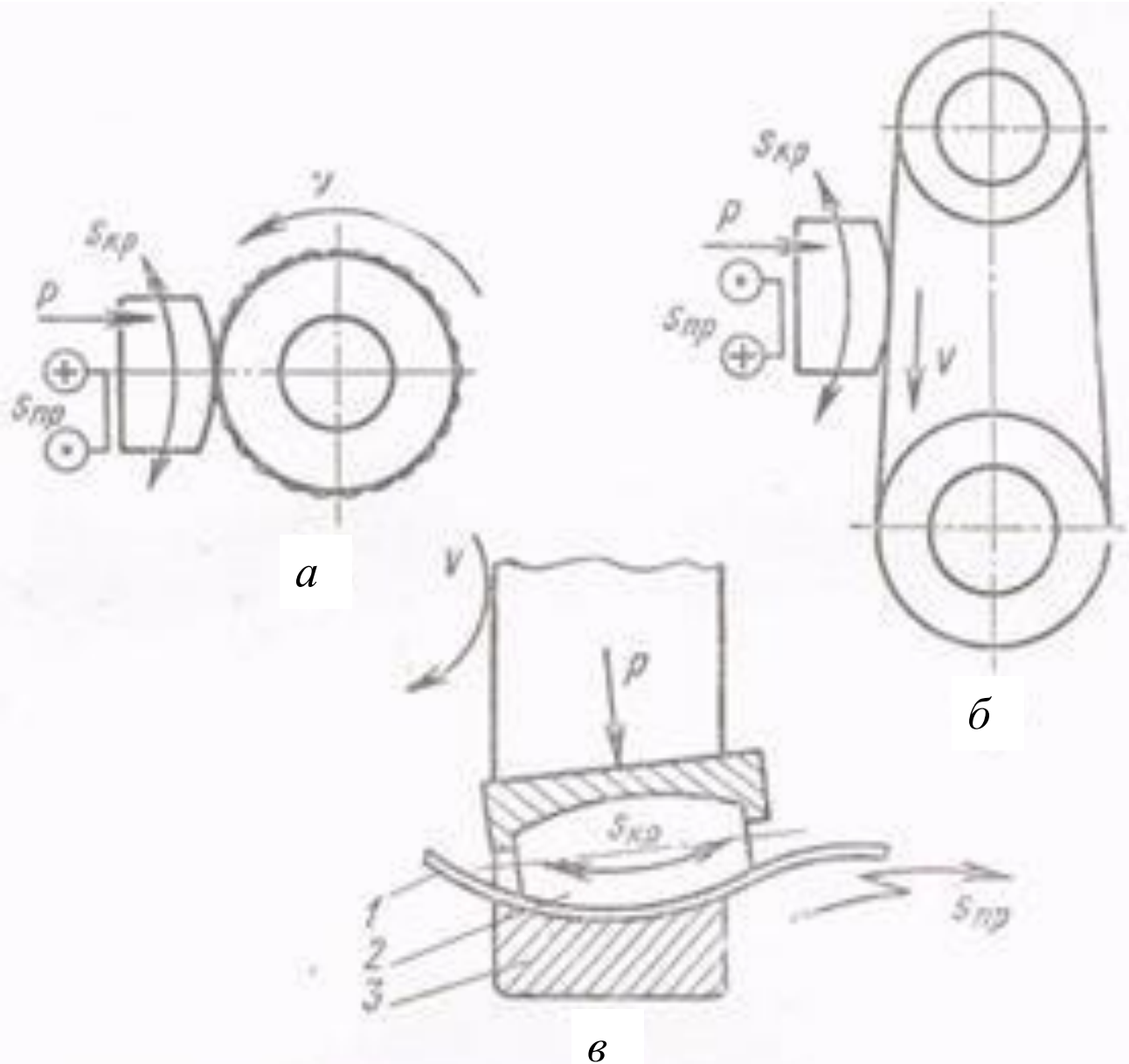
- Олеиновая кислота (в составе паст).
- Церезин (в составе паст).
- Стеарин (в составе паст).
- Масла (в составе паст).
- Вода (гидроабразивное полирование).
- Минеральные кислоты и соли в виде электролитов (электролитическое полирование).
- Керосин (гидроабразивное полирование).
- Соли тяжелых металлов при химико-механической обработке (сульфат меди, нитрат меди или нитрат серебра).

Схемы полирования:

а - заготовка поджимается к кругу с усилием P и совершает движения подачи $S_{пр}$ и $S_{кр}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности;

б - заготовка поджимается к абразивной ленте с усилием P и совершает движение подачи $S_{кр}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности;

в - главное движение при полировании совершает заготовка 3, имеющая форму кольца с фасонной внутренней поверхностью, абразивная лента 1 поджимается через полировальник 2 к обрабатываемой поверхности и периодически перемещается (движение $S_{пр}$).



При полировании деталей из стали и хрома

окружная скорость полировального инструмента:

- для кругов с использованием абразивных порошков 20-35 м/с,
- для кругов с использованием паст - 30-50 м/с.,
- поверхности сложной формы полируют с меньшей окружной скоростью.

Давление круга на обрабатываемую деталь должно быть 2,5-5 кг.

Съем металла при полировании как правило составляет 0,01 - 0,05 мм.



Полирование с использованием роботов

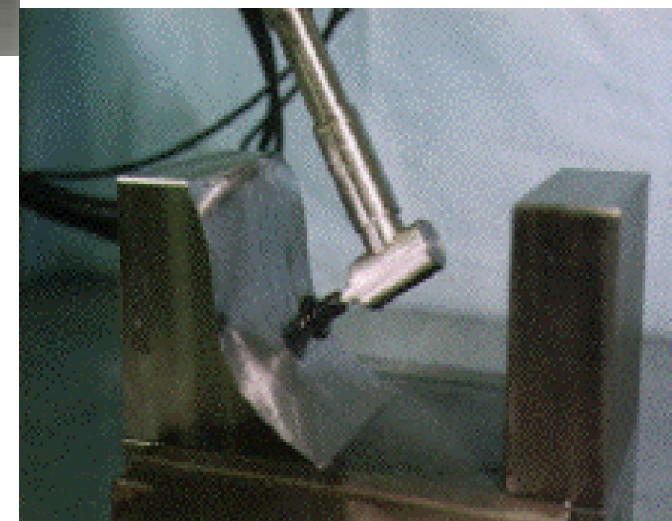


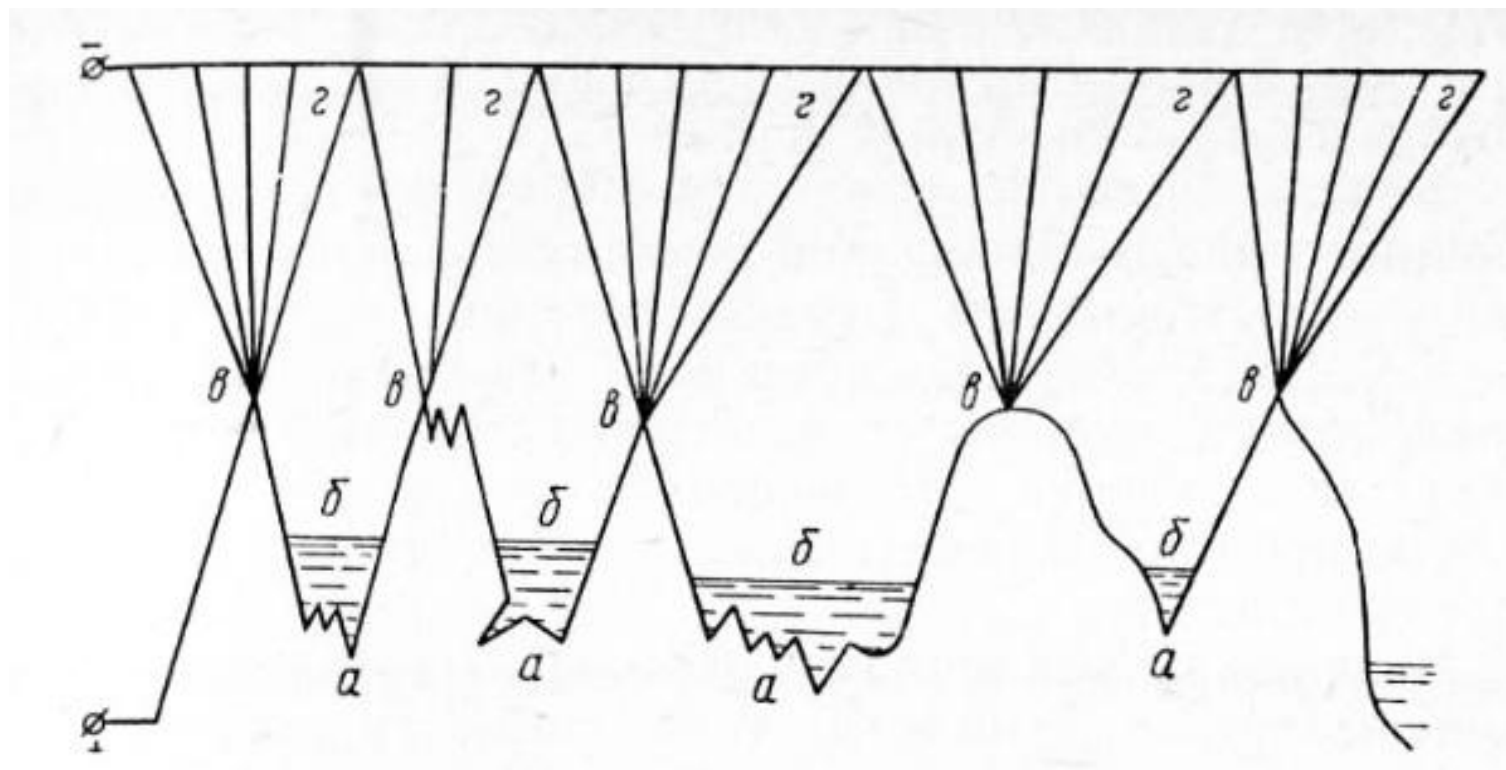
Схема образования вязкой пленки при электрохимическом полировании:

а - впадины;

б - вязкая пленка;

в - выступы;

г - силовые линии тока.



Достоинства электрохимического полирования

- высокая производительность (время полирования практически составляет не более 10 мин., причем габариты детали и форма ее не влияют на производительность);
- отсутствие на ней каких-либо следов деформации и структурных изменений;
- электрохимическое полирование удаляет механически деформированный поверхностный слой металла и восстанавливает его истинное строение;
- выявляет дефекты в металле (неметаллические включения, трещины, волосовины, неоднородность структуры);
- поверхности, электрохимически полированные, пассивируются и благодаря этому в 4—6 раз лучше сопротивляются коррозии;
- они обладают повышенными оптическими свойствами;
- не требует применения полировальных станков, фетровых кругов, абразивных порошков, паст;
- возможны автоматизация обработки и одновременное обслуживание нескольких ванн;
- значительно облегчаются и оздоравливаются условия труда.

Недостатки электрохимического полирования

- незначительная эффективность сглаживания - грубо обработанная поверхность (после точения, фрезерования, шлифования), подвергнутая электрохимическому полированию, почти сохраняет макрорельеф поверхности,
- сложность корректировки состава электролита и, в конечном счете, короткий срок службы электролита.

Оборудование для электрохимического полирования:

- ванны,
- источники постоянного тока низкого напряжения,
- приборы для измерения,
- приборы для регулирования электрического режима.

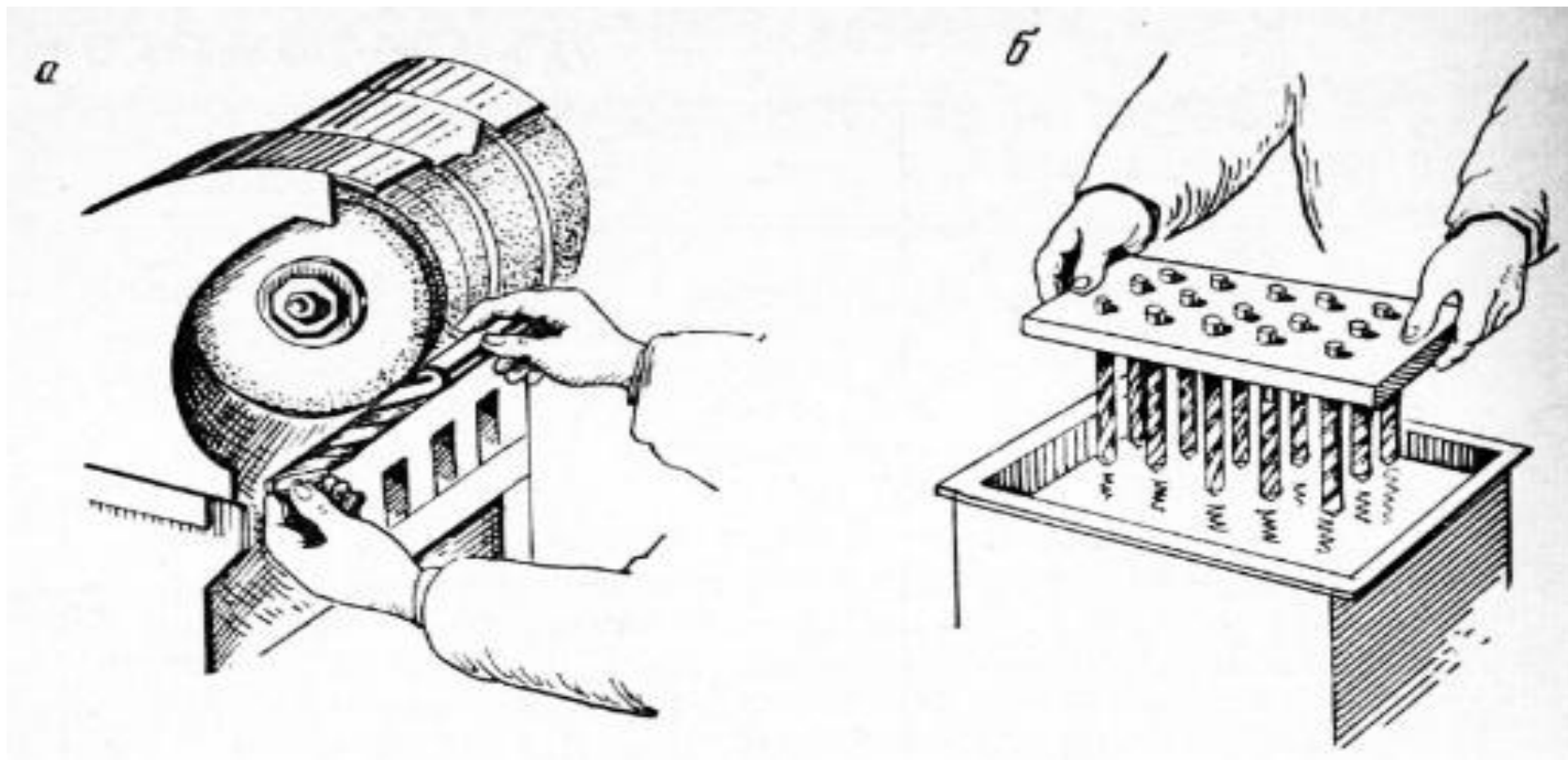
Составы электролитов: наиболее универсальным является электролит, основой которого служит фосфорная кислота с добавлением серной кислоты и хромового ангидрида (фосфорносернохромовый электролит).

Температура электролита - 70 - 80°C.

Расстояние между электродами 20 - 40 мм происходит значительное растворение (от 0,2 до 0,6мм) - расстояние оказывает заметное влияние на равномерность удаляемого слоя.

Применение электрохимического полирования:

- различных деталей арматуры,
- деталей карбюратора (в частности, клапан подачи горючего из нержавеющей стали или фольги),
- тончайших лент,
- проволоки,
- труб.
- в практике металлургических лабораторий при подготовке шлифов для микроскопического исследования для контроля качества сталей:
 - . выявления микро- и макроструктуры,
 - . трещин,
 - . флокенов,
 - . волосовин,
 - . неметаллических включений и других нарушений сплошности металла;
 - . определения карбидной неоднородности, склонности сплавов к интеркристаллитной коррозии;
- для очистки поверхности металла, удаления заусенцев и грата, заострения,
- электрохимическое полирование канавок сверл обеспечивает более легкий сход стружки при сверлении и меньший разогрев сверла.



а - механическое полирование канавок сверл;

б - электрохимическое полирование канавок сверл

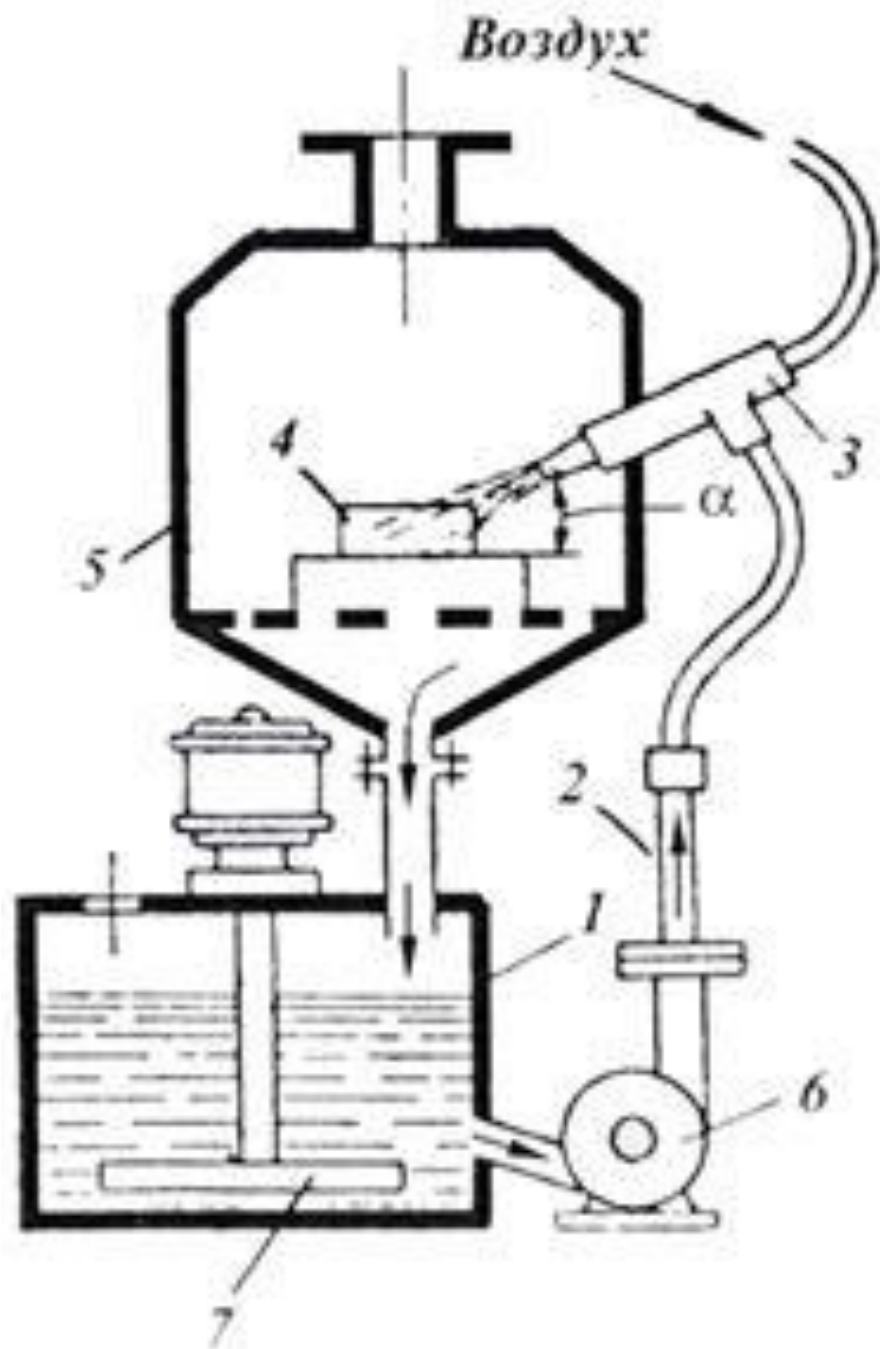


Схема струйно-абразивной установки.

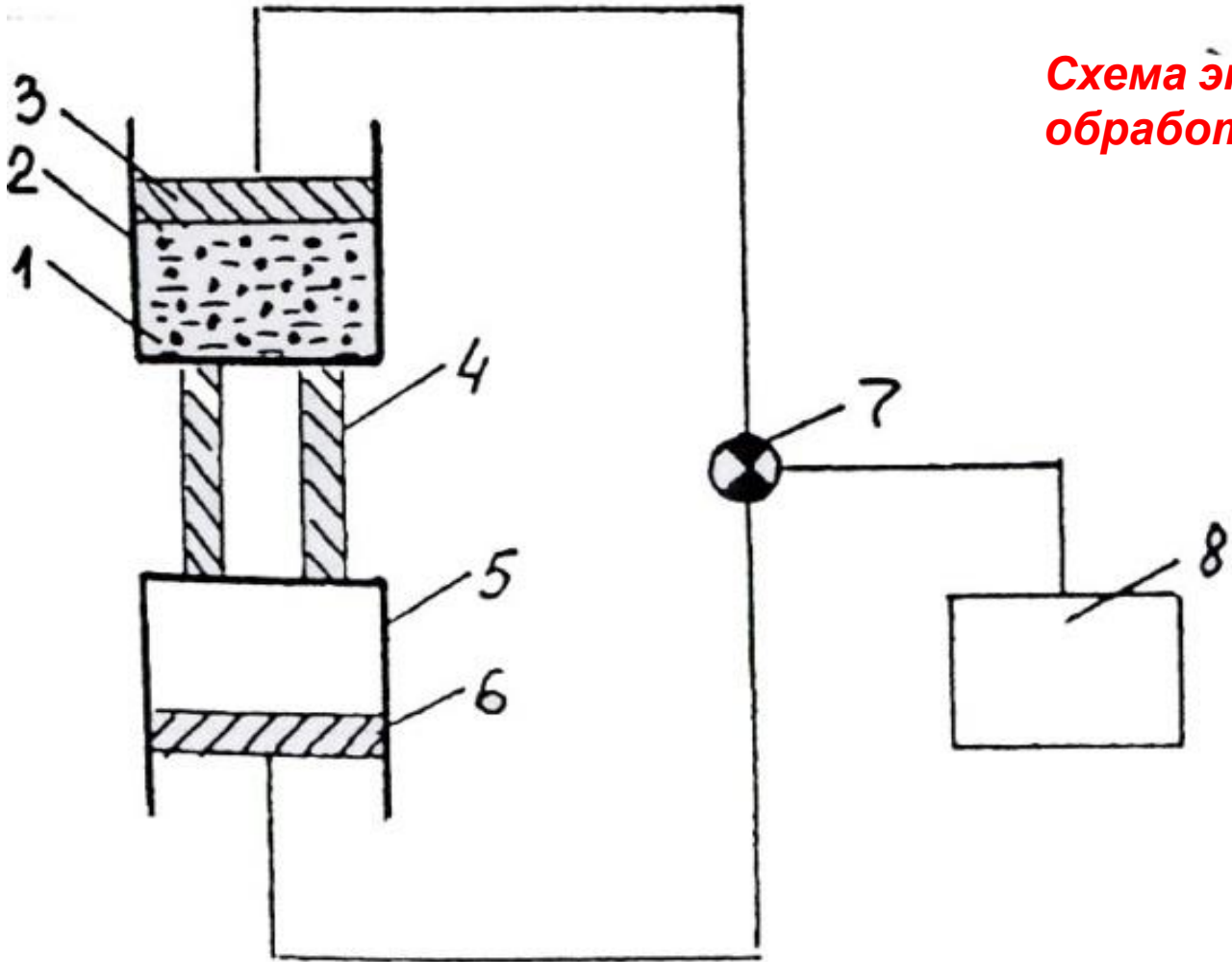


Схема экструзионно-абразивной обработки

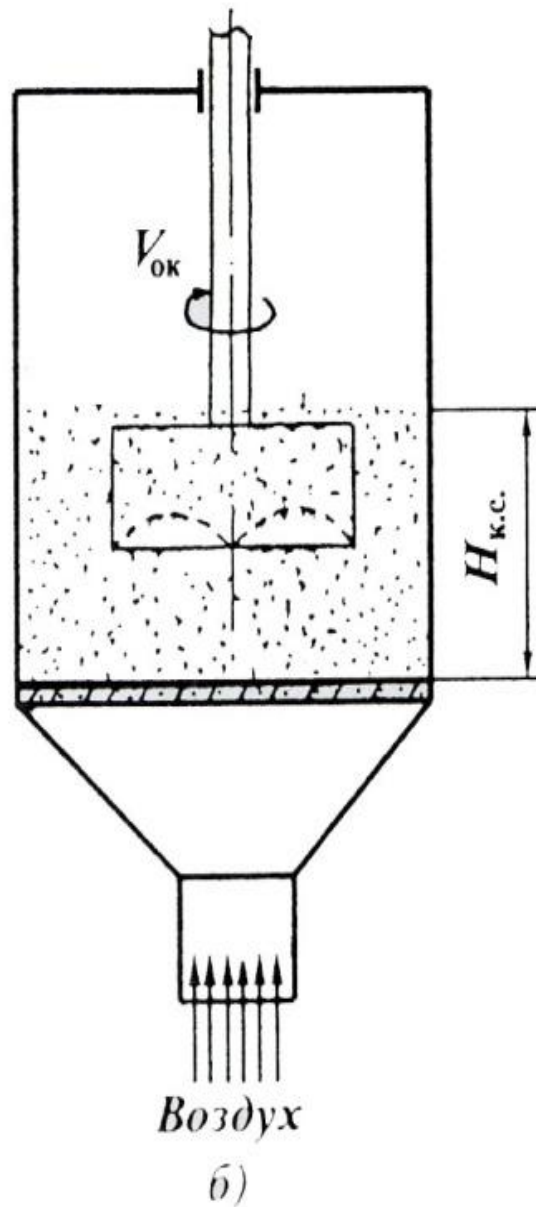
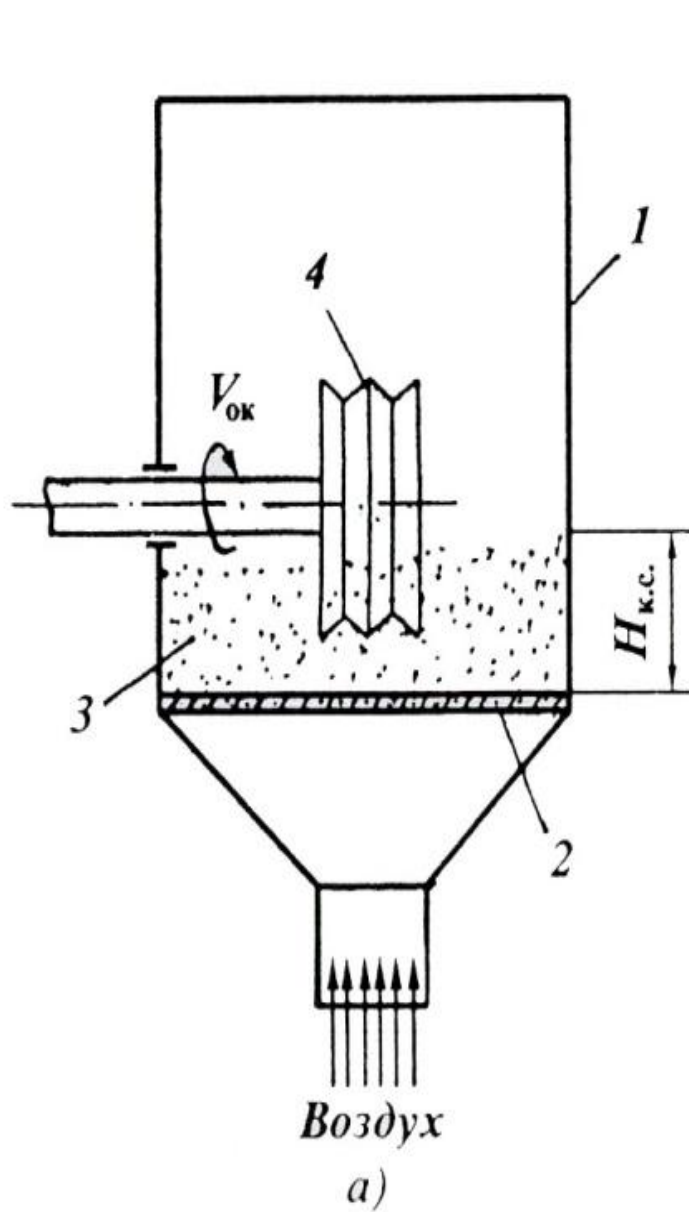


Схема процесса турбоабразивной обработки

с горизонтальной (а) и с вертикальной (б) осью вращения заготовки:

- 1 - рабочая камера;
- 2- воздухораспределительная решетка;
- 3 - абразивное зерно,
- 4 - заготовка

Процесс турбоабразивной обработки позволяет ликвидировать трудоемкие ручные операции при решении технологических задач:

- удаление заусенцев и скругление кромок после операций обработки резанием, штамповки;
- при этом величину радиуса округления кромок можно регулировать;
- финишная обработка профильных поверхностей с получением параметра шероховатости поверхности $R_a = 0,16 \dots 0,3$ мкм;
- подготовка поверхностей под различные покрытия;
- удаление окалины, следов коррозии и т.п.

характеристики возможностей отдельных методов обработки

Метод обработки	Средняя удельная производительность		Средний удельный расход энергии, Дж/см ³	Шероховатость, R, мкм	Точность, качество	Структурное изменение поверхностного слоя	
	в см ³ /с	в см ³ /Дж				Оценочный балл	Глубина слоя, мкм
Резание однолезвийным инструментом (точение)	$5 \cdot 10^{-2} - 5$	$(4-6) \cdot 10^{-4}$	$(1,7-2,5) \cdot 10^3$	0,16-2,5	7-14	4	20-200
Резание многолезвийным инструментом (фрезерование)	$2 \cdot 10^{-3} - 1$	$(1,3-2) \cdot 10^{-4}$	$(5-7,5) \cdot 10^3$	0,32-2,5	7-13	4	20-70
Шлифование	$(0,5-3) \cdot 10^{-2}$	$(11-12) \cdot 10^5$	$(5,5-7) \cdot 10^4$	0,16-2,5	6-9	2	1-60
Электроискровая	$1,7 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-7} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$(0,4-5,5) \cdot 10^6$	1,25-2,5	7-8	2-3	20-60
Электроимпульсная	$8,3 \cdot 10^{-4} - 3,3 \cdot 10^{-2}$	$(14-28) \cdot 10^{-6}$	$(3,5-7) \cdot 10^5$	1,25-2,5	7-10	1-2	100-1000
Электроконтактная	$8,3 \cdot 10^{-4} - 8,3$	$(0,8-3,3) 10^{-6}$	$(0,3-1,2) \cdot 10^5$	1,25-2,5	8-9	1-2	300-5000
Электронно-лучевая	$2 \cdot 10^{-4} - 6,2 \cdot 10^{-3}$	$(1,7-4,2) \cdot 10^{-6}$	$(2,4-5,8) \cdot 10^5$	2,5-6	-	5	1-50
Лазерная	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$(2,15-3,6) 10^{-7}$	$(2,8-4,7) \cdot 10^7$	2,5-6	-	5	10-500
Ультразвуковая	$3 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-1}$	$(1,6-2,8) \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^6$	0,63-2,5	7-8	4	1-50
Электрохимическое профилирование	$8 \cdot 10^{-3} - 1,6$	$(2,3-4,6) \cdot 10^{-6}$	$(2,2-4,3) \cdot 10^5$	0,32-2,5	7-10	4	-
Электрохимическое шлифование	$1,7 \cdot 10^{-6} - 4,1 \cdot 10^{-4}$	$(1,7-7,2) \cdot 10^{-6}$	$(1,4-5,8) \cdot 10^5$	0,16-0,64	6-8	4	-