
дисциплина

Специальные методы упрочнения деталей

Жанна Геннадьевна Ковалевская

к.т.н., доцент Отделения материаловедения

Олег Михайлович Утьев

к.т.н., доцент Отделения материаловедения

Объем и аттестация работы

Лекции - 16 часов (оценка остаточных знаний - 24 б)

**Лабораторные работы - 16 часов
(выполнение работы и защита отчетов - 32 б)**

**Контрольные работы – 2 раз
(каждая 12 б и всего 24 б)**

Аттестационная работа - 20 б

Как известно, в большинстве случаев работоспособность деталей машин зависит от свойств поверхностного слоя.

Задачами оптимизации строения и свойств поверхностных слоев деталей занимается научное направление Инжиниринг поверхности.

Большой вклад в развитие данного направления внесли российские научные школы А.М. Дальского, А.Г. Суслова, В.М. Смелянского и других.

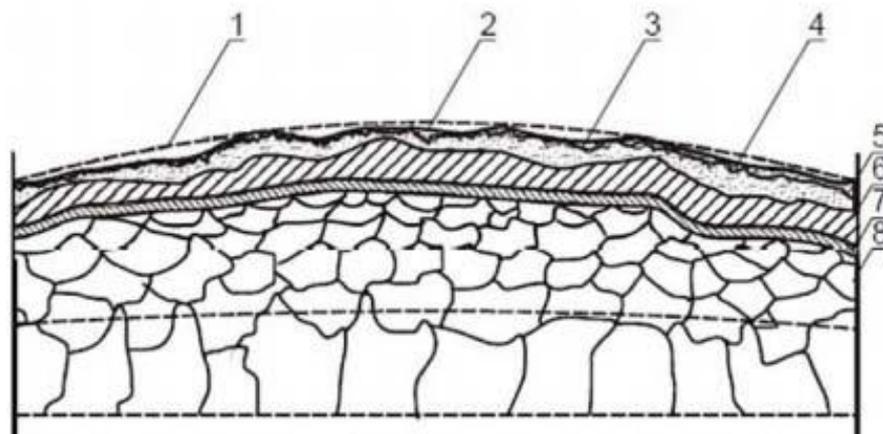


Рисунок 1 - Схематичное изображение поверхностного слоя детали: 1 - макроотклонение; 2 – волнистость; 3 – шероховатость; 4 – субшероховатость; 5 – адсорбированная зона; 6 – зона оксидов; 7 – границная зона; 8 – зона с измененными физико-механическими свойствами.

Состояние поверхности после резания

Схема резания на токарном станке

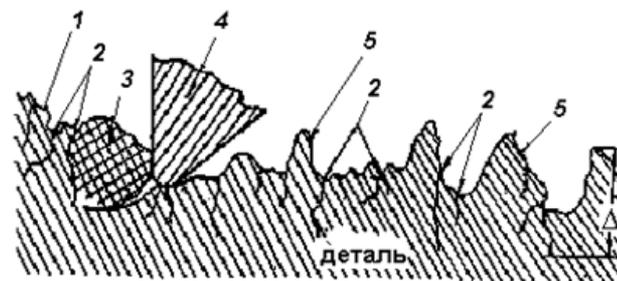
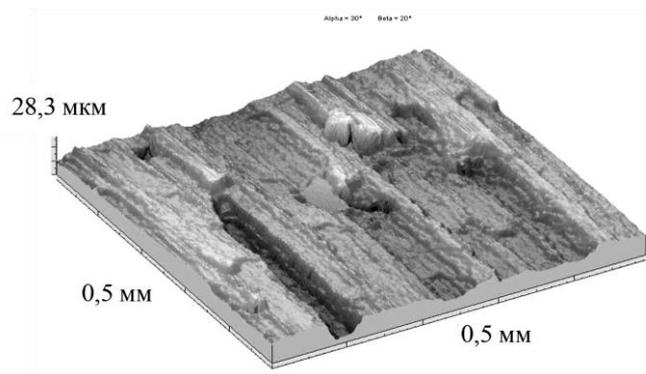
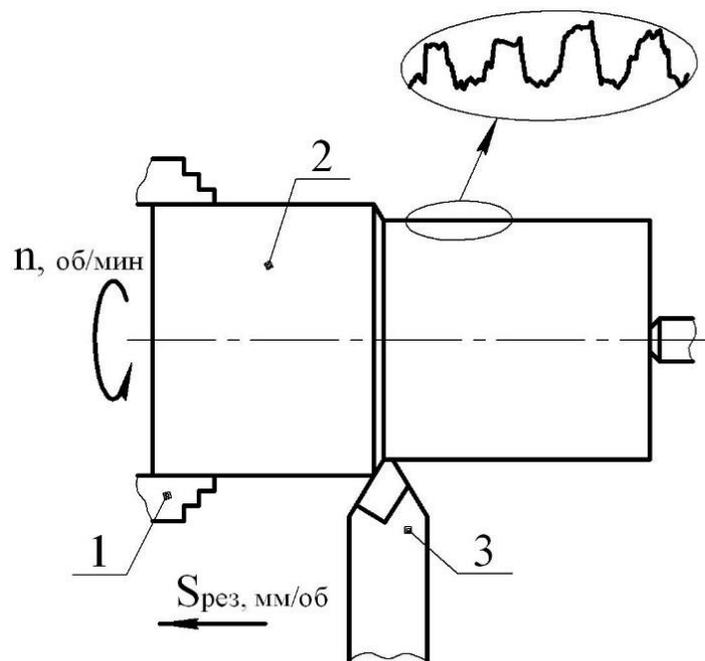
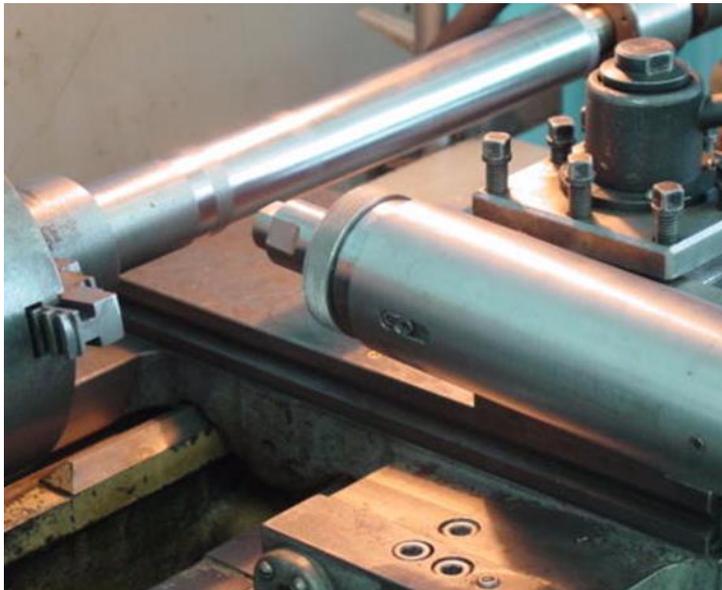


Схема образования микротрещин при механической обработке детали: 1 – микропрофиль детали перед обработкой; 2 – микротрещины; 3 – элементарная порция (элементарный блок) стружки; 4 – резец; 5 – микропрофиль детали после обработки; Δ – глубина проникновения микротрещин по линии сдвига

Современные технологии упрочнения поверхности деталей

**Модифицирование
структуры поверхностного
слоя детали**

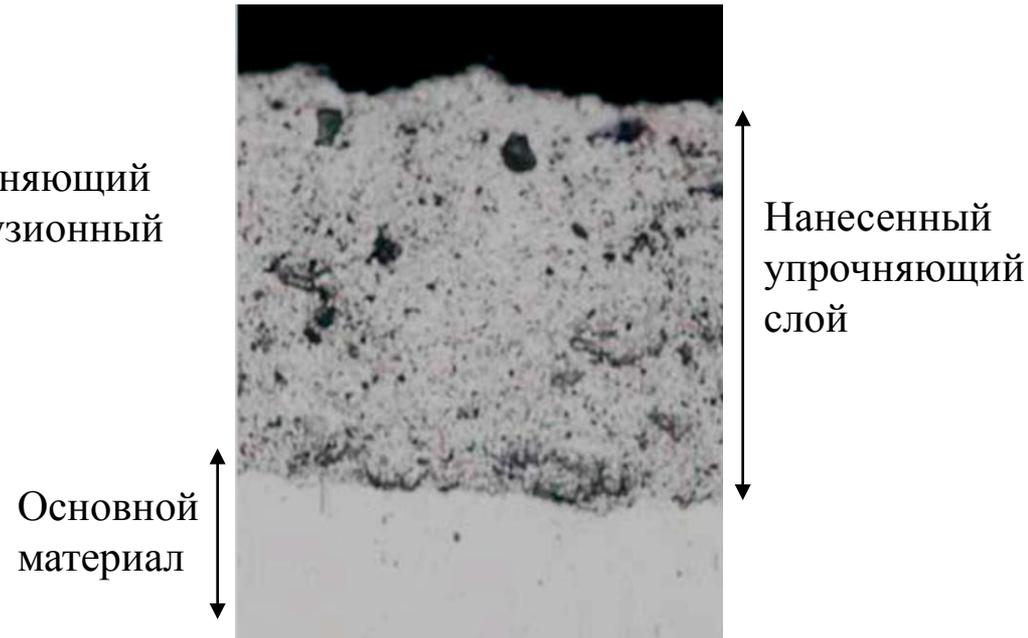
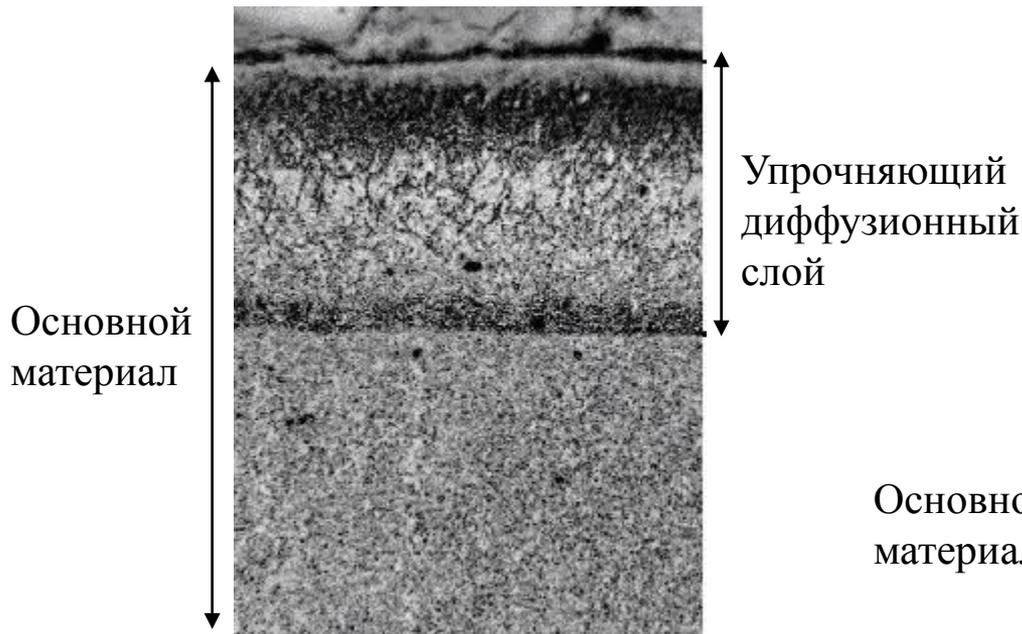


**Нанесение пленок,
покрытий и защитных
слоев на деталях**



Комбинированные методы

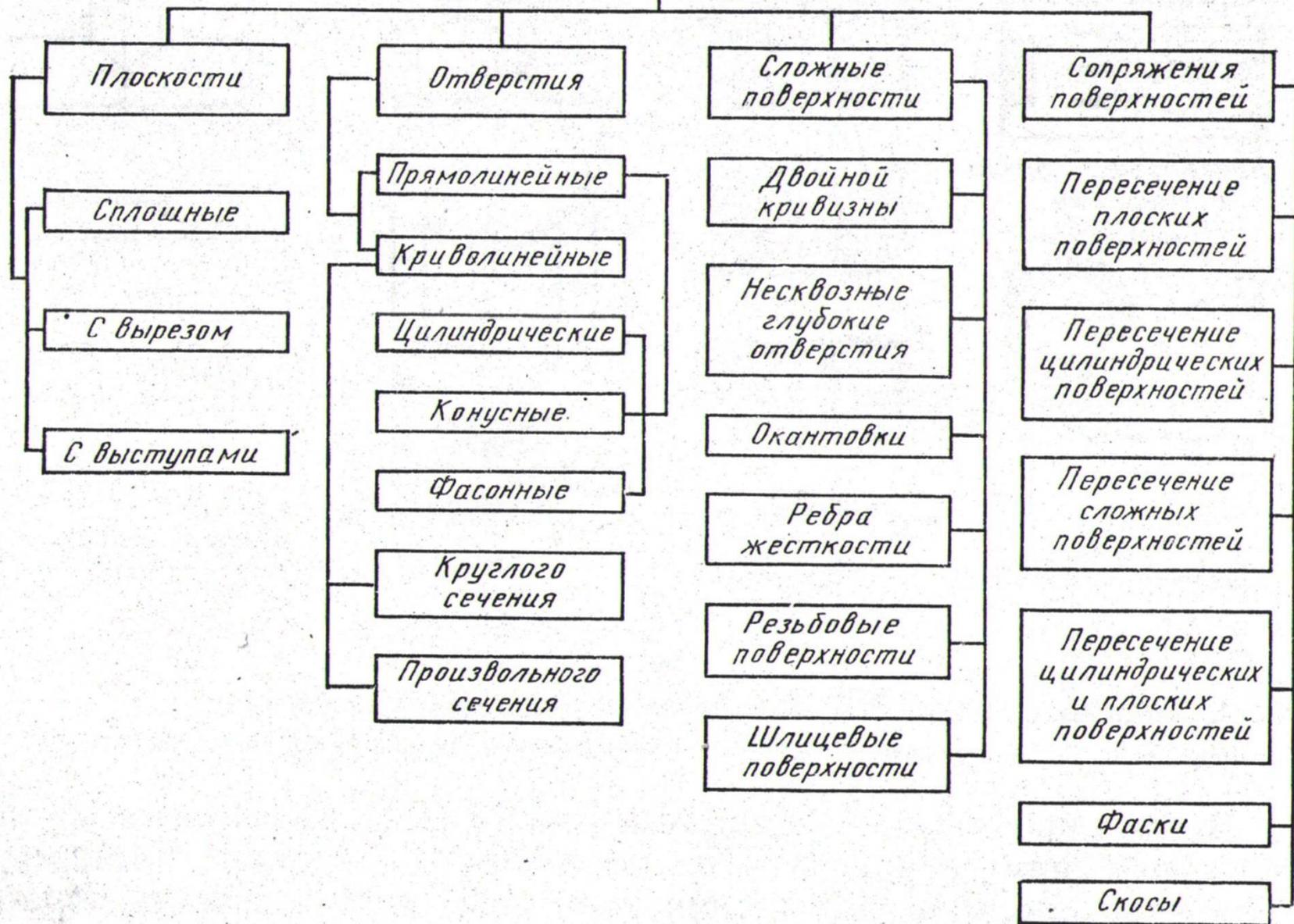
Особенности строения упрочненного поверхностного слоя



В случае модифицирования не происходит изменения геометрических размеров изделия. Упрочнение поверхностного слоя происходит за счет структурно-фазовых превращений в самом поверхностии.

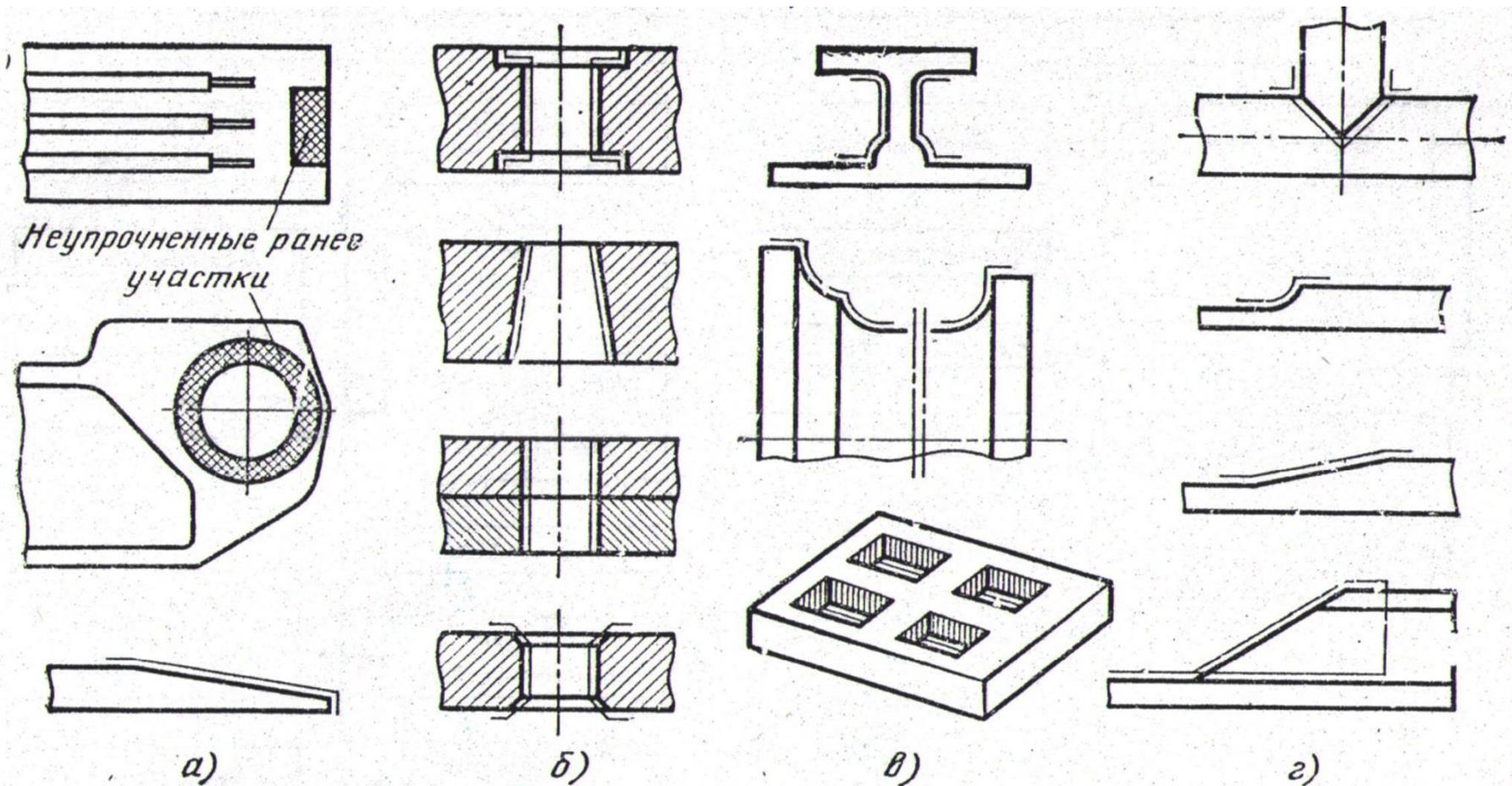
Нанесения пленок, покрытий и защитных слоев изменяет геометрический размер детали. Упрочнение обусловлено образованием на поверхности слоя материала с особыми свойствами.

Поверхности, подверженные местному упрочнению



Типы поверхности, подвергаемые местному упрочнению:

а – плоскости, б – отверстия, в – сложные поверхности,
г - сопряжения поверхностей



Модифицирование структуры поверхностного слоя детали

1. На этапе формообразующих операций

Литье, обработка давлением, резание, порошковая металлургия.

2. Поверхностное пластическое деформирование (ППД)

Статическое, ударное, комбинированное

3. Поверхностная термическая обработка

Закалка без оплавления, обработка высококонцентрированными потоками энергии, отпуск

4. Химико-термическая обработка (ХТО)

Поверхностное легирование неметаллами или металлами (диффузионная металлизация)

5. Ионная имплантация

Модификация или легирование
поверхностных слоев

6. Формирование композиционных структур

Шаржирование, динамическое легирование

7. Комбинированные методы модифицирования

Термомеханическая обработка и др.

Нанесение пленок, покрытий и защитных слоев

1. Термические методы

Погружение в расплав, эмалирование

2. Химические методы

Осаждение химической реакцией,
электролитическое осаждение

3. Вакуумные методы

Дуговое, ионно-плазменное, ионно-лучевое, магнетронное, электронно-лучевое напыление

4. Газотермическое напыление

Плазменное, детонационное,
высокоскоростное газопламенное и др.
напыление

5. Наплавка

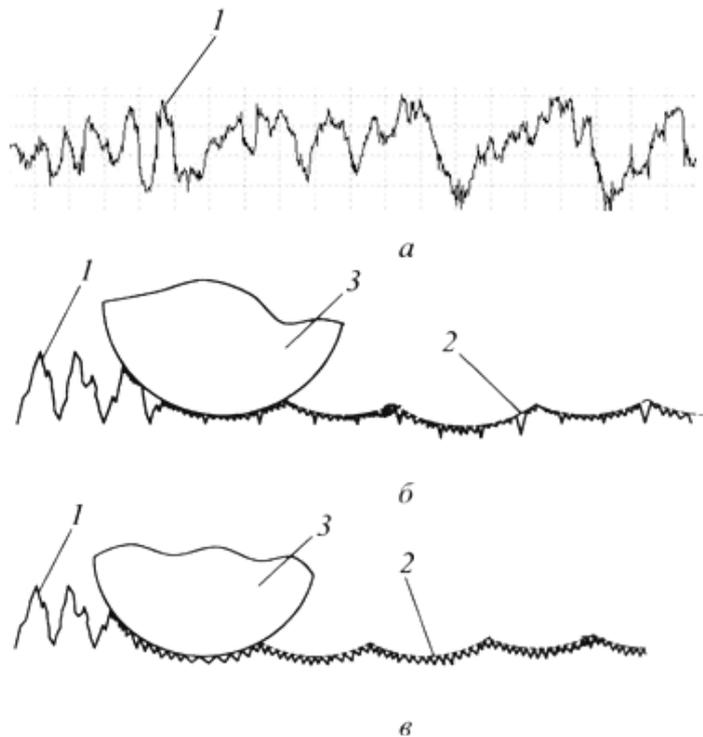
Электро-дуговая, электронно-лучевая,
лазерная, плазменно-дуговая и др.

**6. Термомеханический метод
(плакирование)**

Прокаткой, ковкой, взрывом и др.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) –

процесс упрочнения за счет подвода в зону обработки поверхности детали механической энергии, сопровождающийся наклепом и изменением микрорельефа поверхности за счет пластического деформирования.



Состояние поверхности детали после точения (а) и ППД в режиме ОУО (б) и УО (в).

- 1 – поверхность после точения,
- 2 – поверхность после ППД,
- 3 – деформирующее тело.

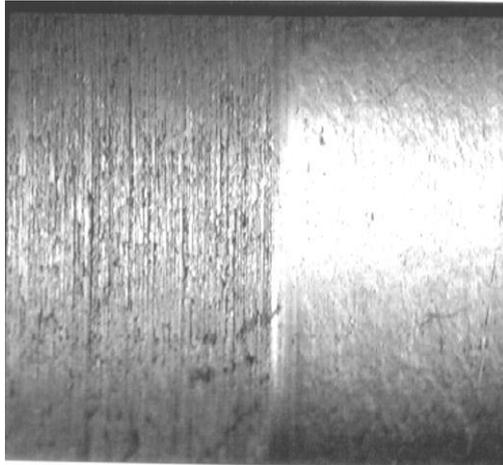
Режим отделочно-упрочняющей обработки – ОУО – частичное сглаживание неровностей поверхности. Повышает износостойкость при жидкостном и граничном трении, контактную жесткость при первом нагружении, прочность посадок, частично усталостную прочность.

Режим упрочняющей обработки – УО – полное сглаживание исходной шероховатости и формирование нового профиля. Повышает износостойкость при сухом трении, усталостную прочность.

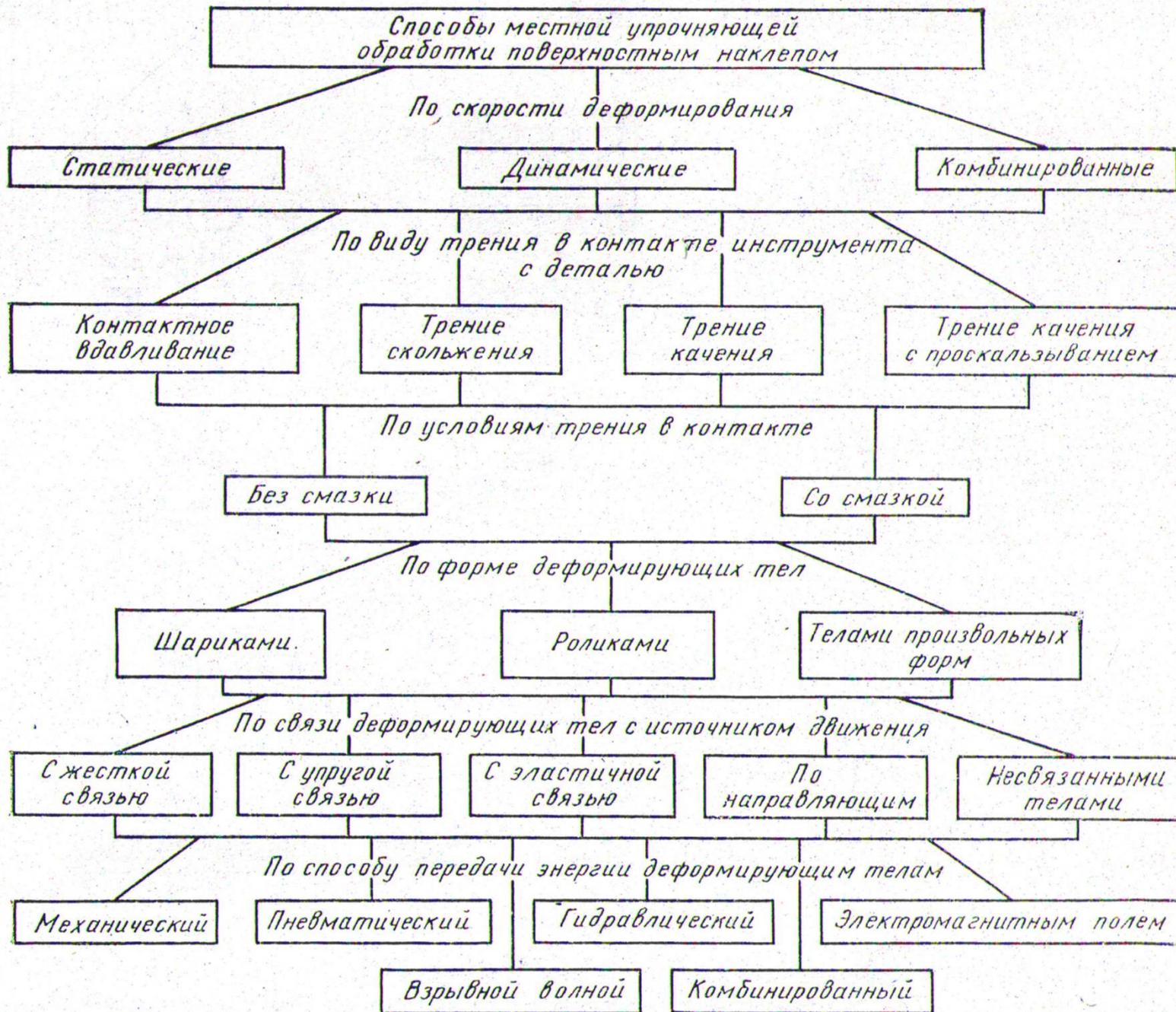
Главные отличия ПШД от операций резания:

Поверхность
после точения

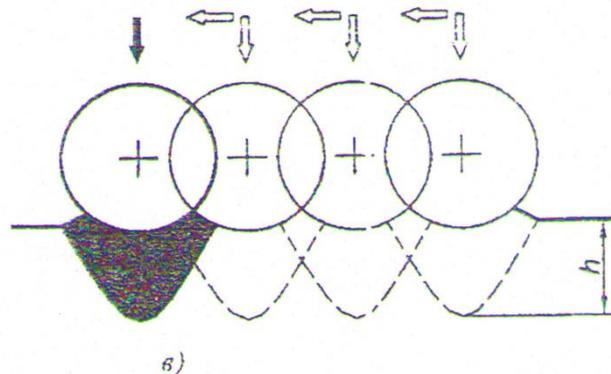
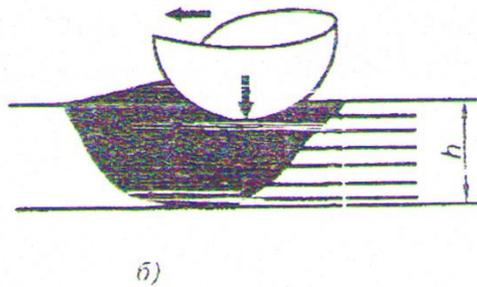
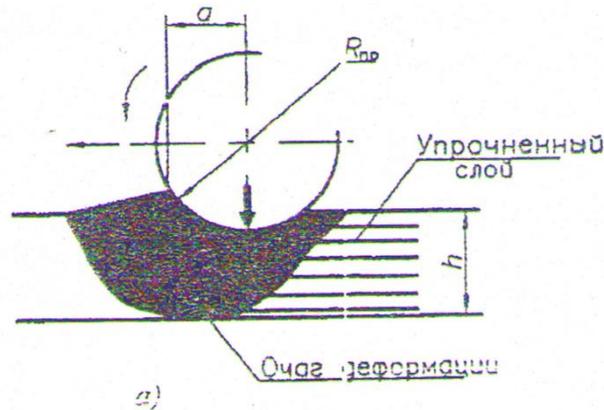
Поверхность
после
выглаживания



1. Сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое;
2. Отсутствует шаржирование обрабатываемой поверхности частичками шлифовальных кругов, полировочных паст;
3. Отсутствуют термические дефекты;
4. Снижается шероховатость поверхности в несколько раз за один рабочий ход;
5. Создается благоприятная форма микронеровностей с большей долей опорной площади;
6. Можно образовывать регулярные микрорельефы с заданной площадью углублений для задержания смазочного материала;
7. Создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое.
8. Плавно и стабильно повышается микротвердость поверхности.



Основные схемы взаимодействия деформирующего тела с обрабатываемой поверхностью



а. кочение – деформируемое тело прижимается к поверхности детали с фиксированной силой P и перемещается с вращением.

б. скольжение – деформируемое тело прижимается к поверхности детали с фиксированной силой P и перемещается без вращения.

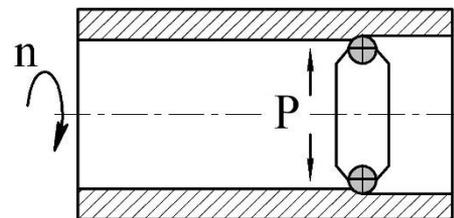
в. внедрение – деформируемое тело или тела наносит многочисленные удары перпендикулярно или под углом к поверхности

Кочение и скольжение относятся к статическим методам ППД.

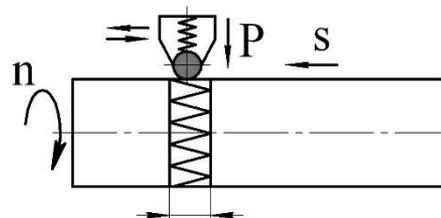
Внедрение относится к динамическим методам ППД.

Некоторые методы ПД

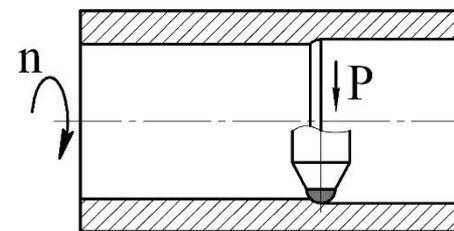
Статические



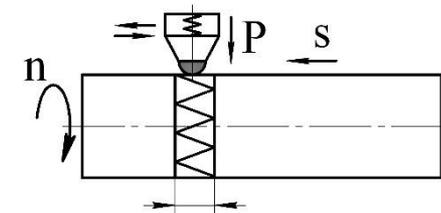
Упрочняющее
обкатывание (раскатывание)
роликами (шариками)



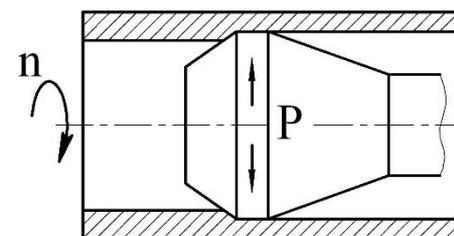
Вибрационное
накатывание



Выглаживание внешних и
внутренних поверхностей



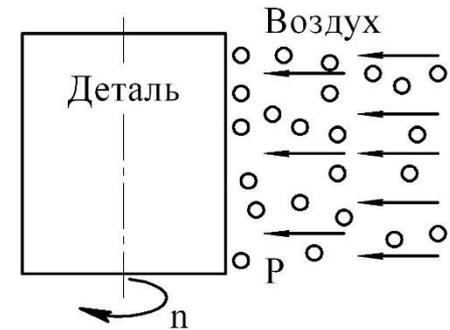
Вибрационное
выглаживание



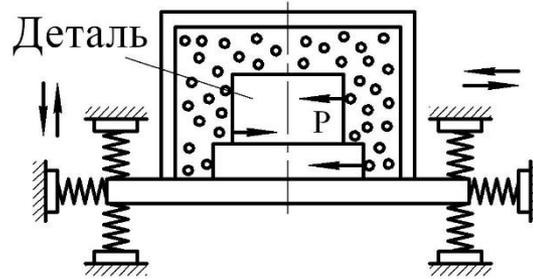
Дорнование

Некоторые методы ПД

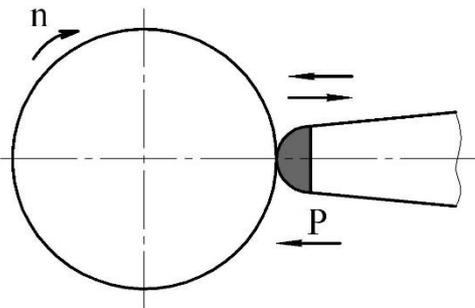
Динамические



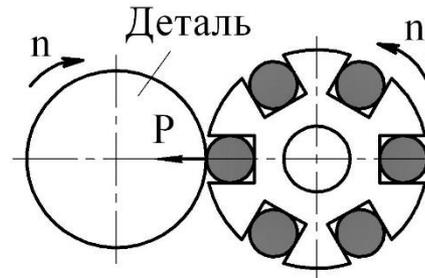
Дробеструйная
обработка



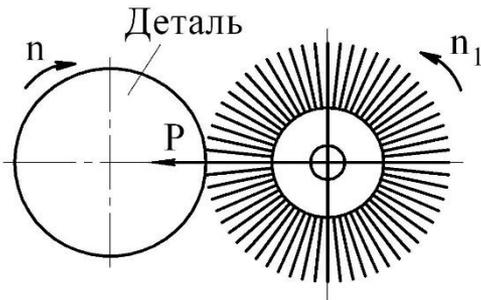
Вибрационная
ударная обработка



Чеканка



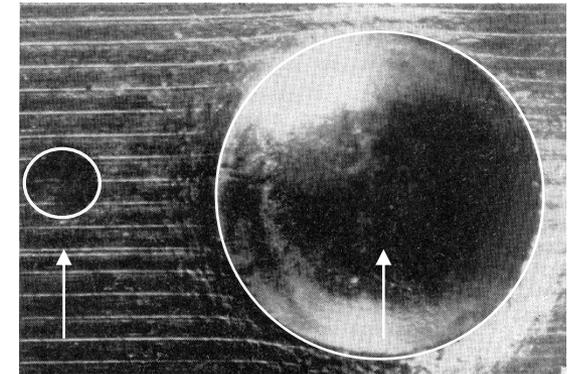
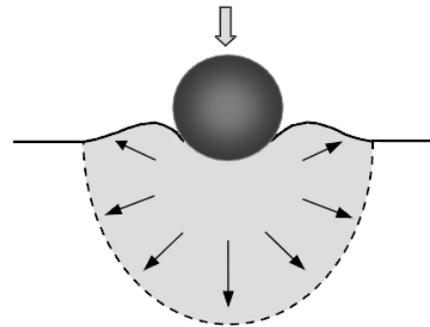
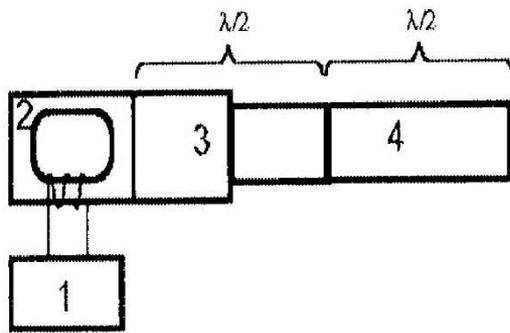
Центробежная
обработка



Обработка
механической щеткой

Поверхностная ультразвуковая обработка

Принцип работы - одновременное действие квазистатических и высокочастотных динамических нагрузок на инструмент, создающее особые условия обработки материала.



Отпечаток
Бринеля

Отпечаток
Бринеля с УЗ

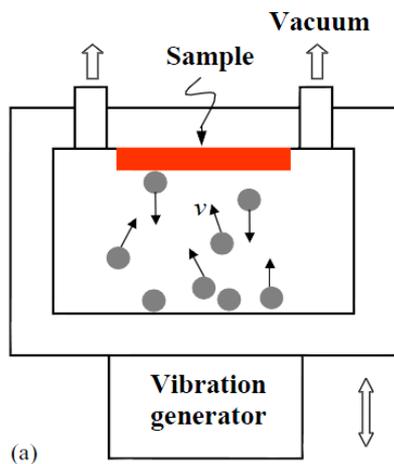
**Схемы возбуждения
ультразвуковых колебаний в
образце:**

- 1 – генератор;
- 2 – магнитостриктор;
- 3 – концентратор;
- 4 – обрабатываемый образец.

Механизм воздействия на материал:

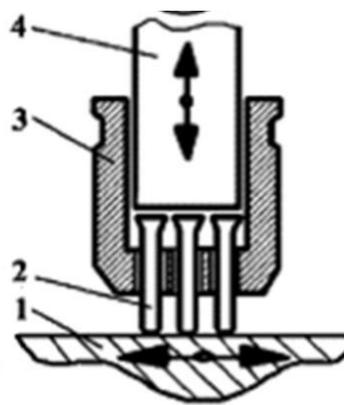
1. Объемная диссипация акустической энергии приводит к увеличению пластичности в очаге деформации
2. Граничная диссипация акустической энергии приводит к существенному уменьшению трения

Схемы ПШД с одновременным воздействием ультразвуковых колебаний



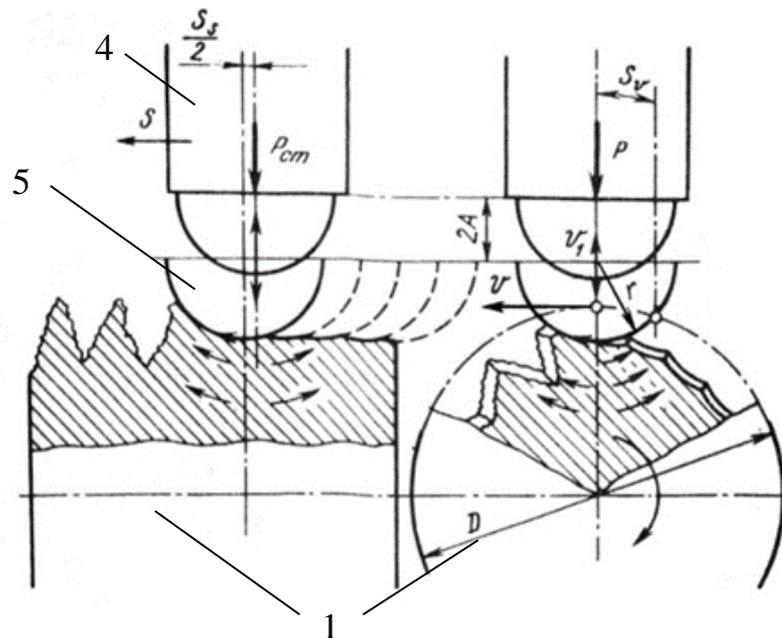
(a)

а



б

:



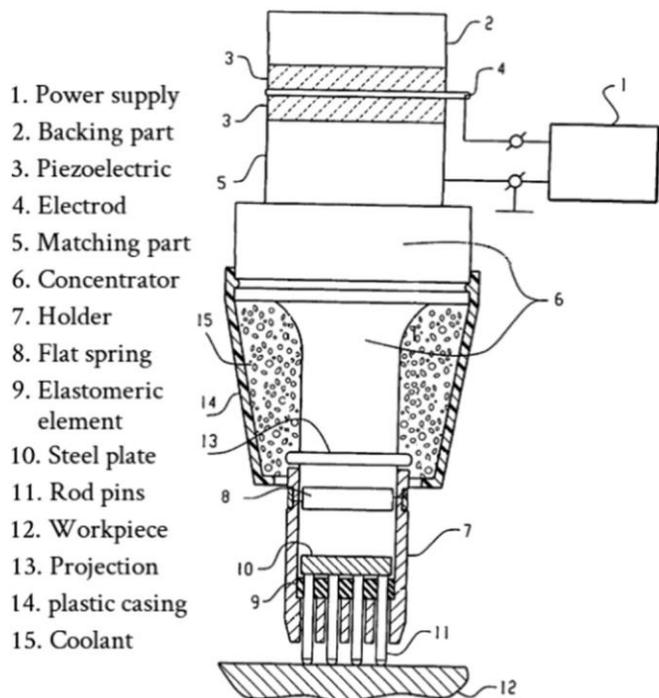
в

а – обработка свободными деформирующими элементами;
б – обработка многоэлементным инструментом;
в – обработка ультразвуковым инструментом.

1 – обрабатываемый образец; – генератор; 2 – бойки; магнитоэлектрик; 3 – корпус; 4 – концентратор; 5 – индентор; 6–7 – свободно деформирующие элементы (шарики).

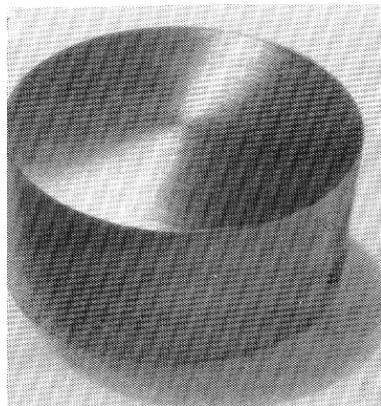
Главное техническое преимущество – снижение силового воздействия инструмента на поверхность детали

Ультразвуковая ударная обработка (УУО) многоселементным инструментом

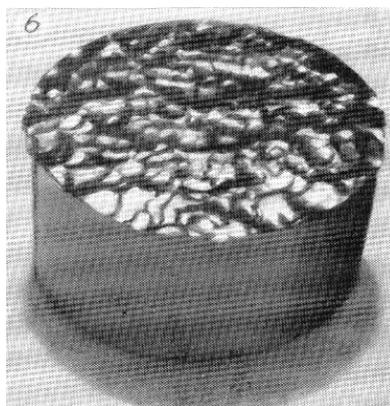


| Наименование показателя | Единица измерения | Номинальное значение |
|--|-------------------|----------------------|
| Максимальная потребляемая электрическая мощность | Вт | 570 |
| Напряжение питания | В | 220 |
| Частота питающего напряжения | Гц | 50 |
| Диапазон рабочих частот | кГц | 26 — 28 |
| Диапазон токов поляризации | А | 2 — 6 |
| Диапазон выходной электрической мощности | Вт | 0 — 400 |

Ультразвуковая ударная обработка многочастичным инструментом



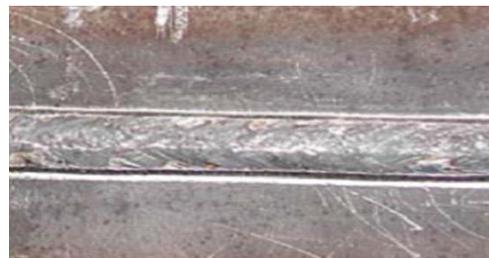
а



б



в



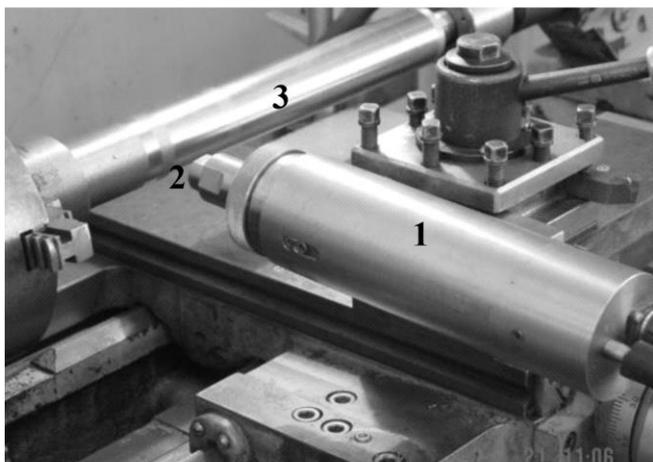
г

**Состояние поверхности до (а, в) и
после УУО (б, г):**

а, б – плоской поверхности стали; в, г – сварного шва



Ультразвуковая обработка (УЗО)



Размещение устройства УФО на токарном станке:

- 1 – магнитострикционный преобразователь;
- 2 – индентор;
- 3 – обрабатываемая деталь;
- 4 – соединительный кабель;
- 5 – система охлаждения воздухом

Ультразвуковой комплект

Технические характеристики генератора

| | |
|------------------------------|-------------|
| Напряжение питания | 220 В |
| Частота питающего напряжения | 50 Гц |
| Потребляемая мощность | 0,3 кВт |
| Выходное напряжение | 100 В |
| Частота выходного напряжения | 22 кГц |
| Выходная мощность | 50...250 Вт |

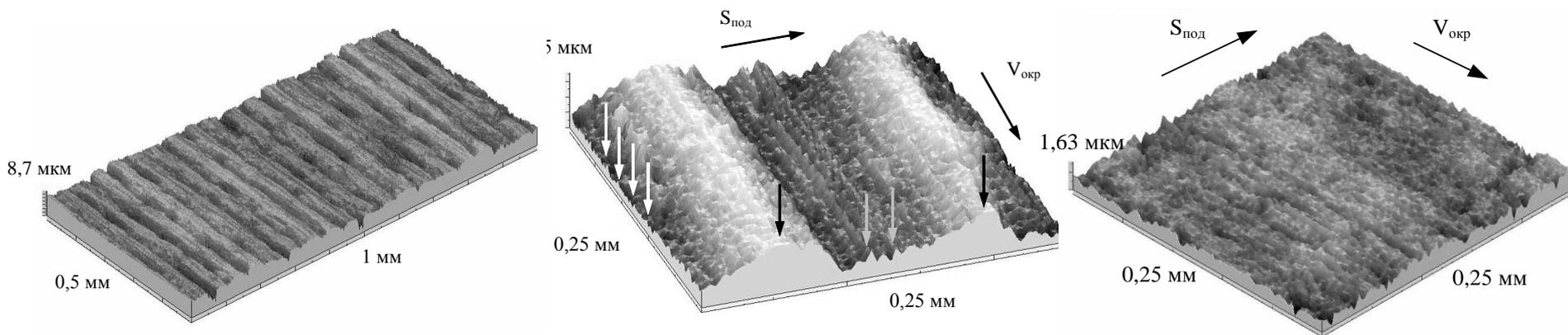
Технические характеристики инструмента

| | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Рабочая частота | 22 кГц |
| Индентор | шарик $d = 5$ мм из сплава ВК8 |
| Амплитуда колебаний | 5...20 мкм |
| Статическое усилие прижима | 70...75 Н |

Технические достоинства

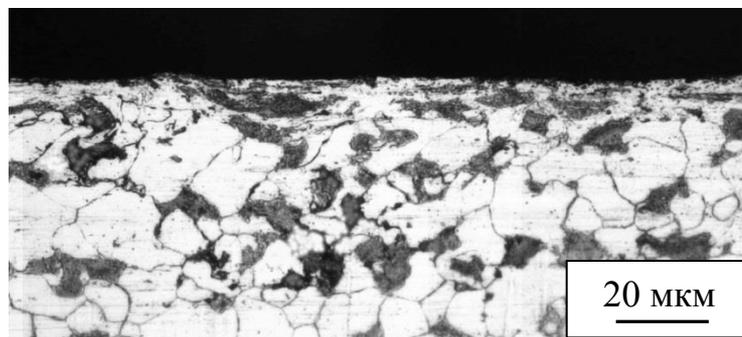
- Снижение силового воздействия инструмента на поверхность детали
- Точный контроль процесса, что придает ему повторяемость и надежность
- Возможность управления топографией поверхности

Ультразвуковая обработка (УЗО)



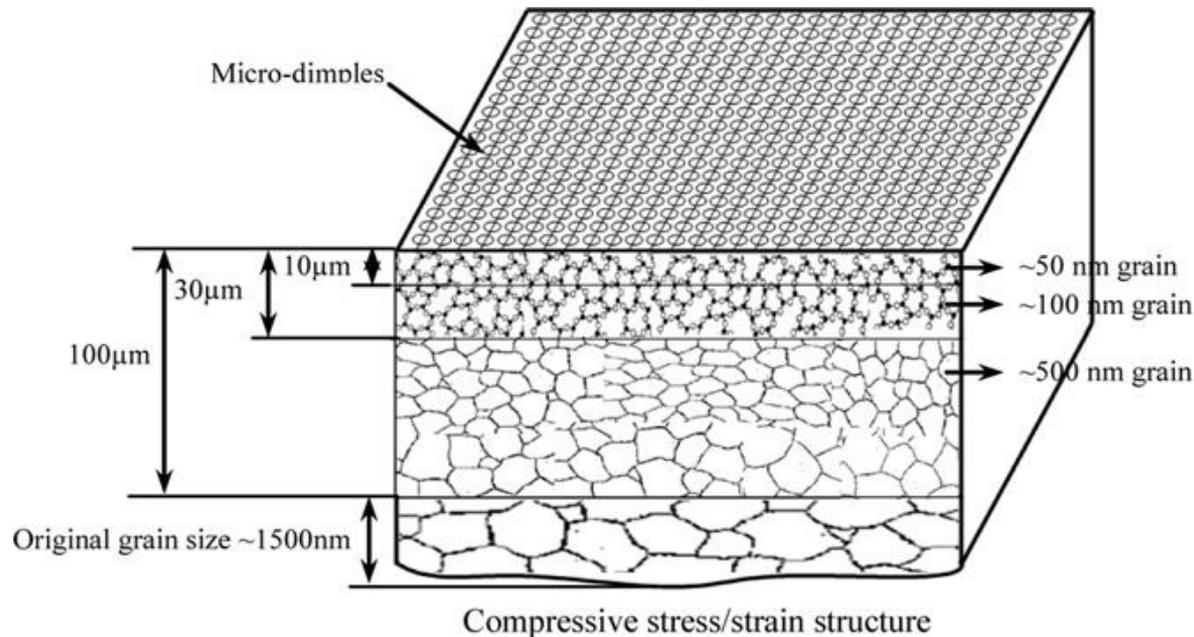
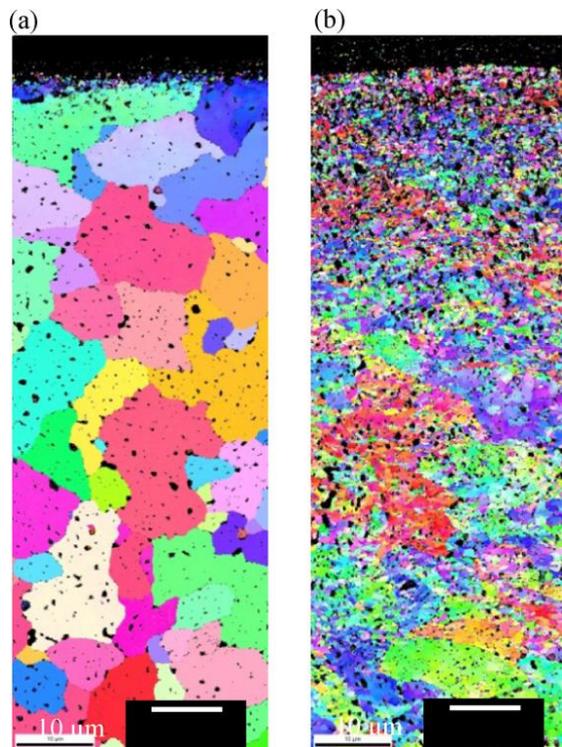
Состояние поверхности конструкционной стали после УЗО

в режиме отделочно-упрочняющей обработки (а) и упрочняющей обработки с формированием анизотропной (б) и изотропной (в) топографии



Микроструктура поверхности конструкционной стали после УЗО

Наноструктурирование поверхностного слоя материала после ультразвуковой обработки поверхности

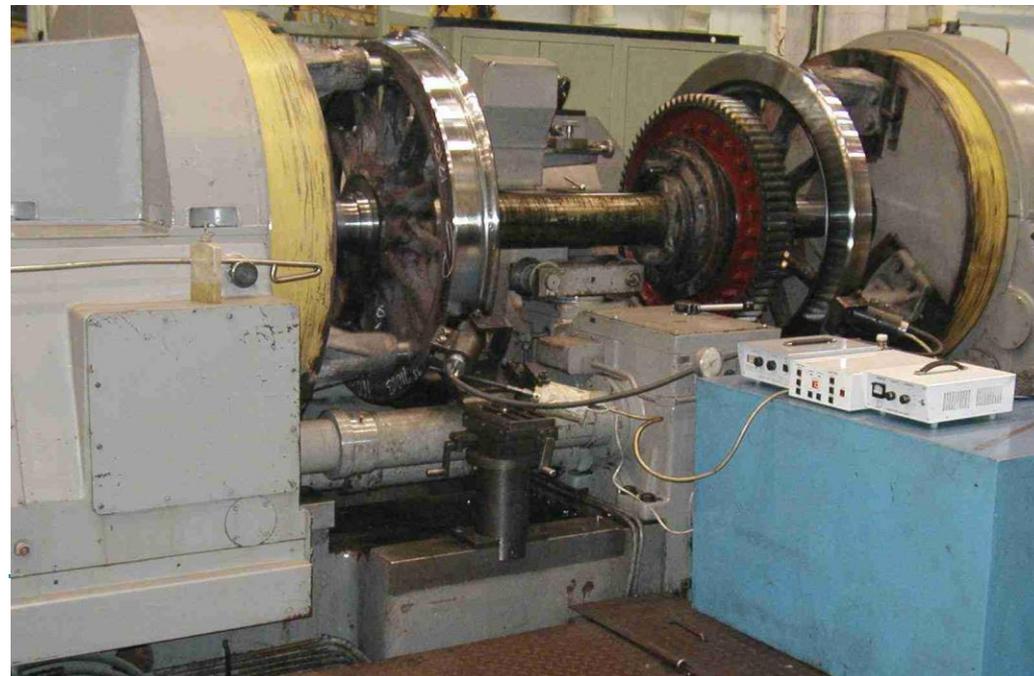


Изображение сечения материала, полученное методом дифракции отраженных электронов в обычном состоянии (а) и после УЗО (б)

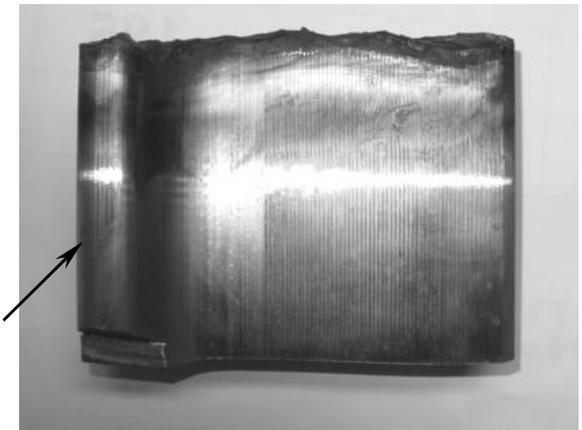
Схема структуры в сечении материала, после УЗО



Общий вид комплекса для ультразвуковой обработки бандажей локомотивных колес



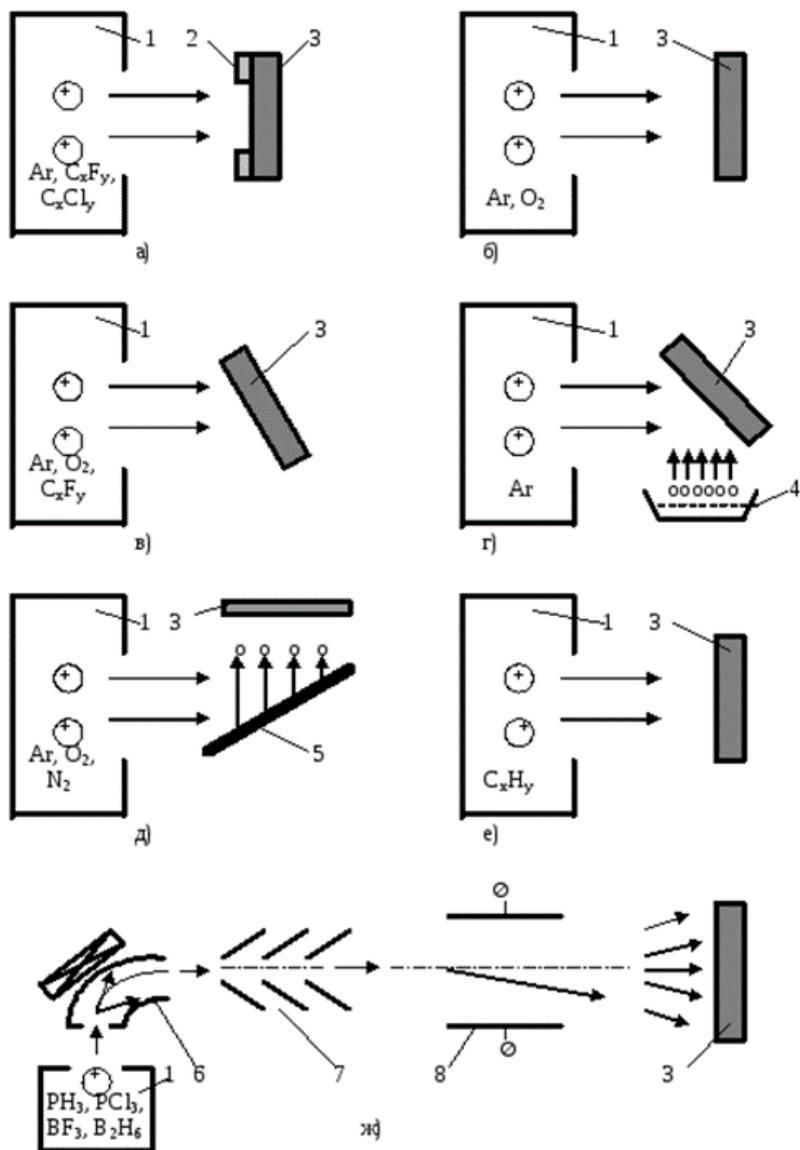
Гребень бандажа



Зона УФО
после точения

Зона точения

Внешний вид сегмента бандажа колесной пары локомотива после ультразвуковой обработки



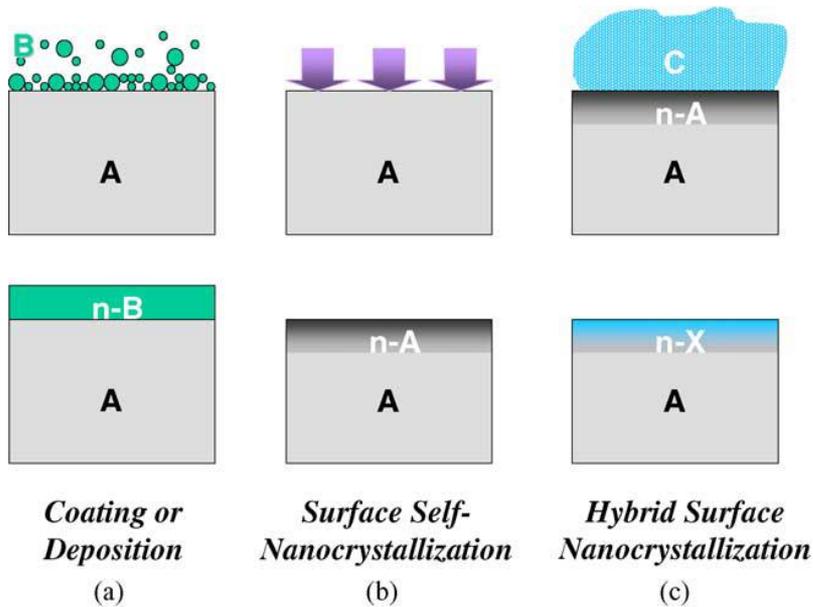
Ионно-лучевая обработка применяется для формирования микрорельефа (рис.29 а), очистки, полировки и активации поверхностей (рис.29 б,в), нанесения тонких пленок в вакууме с ионно-лучевым ассистированием (рис.29 г), распылением (рис.29 д) и осаждением (рис.29 е), а также для модификации и легирования поверхностных слоев деталей с помощью имплантации ионов из сепарированных пучков (Рис.29 ж).

Рис.29 В варианты ионно-лучевой обработки: 1 – источник ионов; 2 – маска; 3 – изделие; 4 – испаритель; 5 – мишень; 6 – масс-сепаратор; 7 – система ускорения ионов; 8 – система сканирования









Schematic illustration of three types of surface nanocrystallization processes: (a) surface coating or deposition; (b) surface self-nanocrystallization; (c) hybrid surface nanocrystallization.

Materials Science and Engineering A 375–377 (2004) 38–45

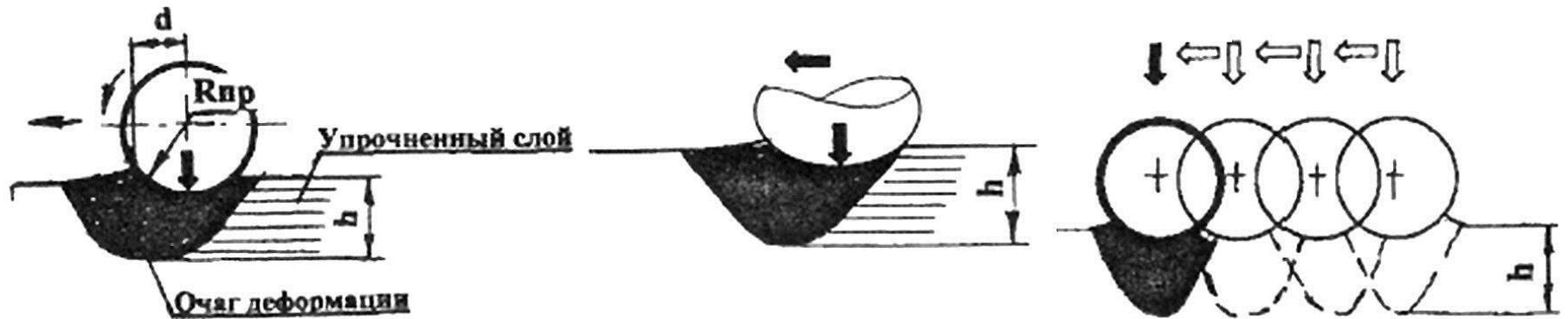
Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment
K. Lua^{a,*}, J. Lub

Surface treatment by turning

A typical surface microrelief is formed from the protrusions and valleys when turning the steel surface

<http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/10539> плазменное и лазерное покрытие для лекции ГТП и вакуумное

http://science-bsea.bgita.ru/2013/mashin_2013_18/kakovkina_laser.htm лазерная термообработка



<file:///C:/Users/Kovalevskaya/Downloads/1058-12866-1-PB.pdf>

электромеханическая закалка
резьбового соединения



THANKS