

# Методы поверхностного упрочнения

К.т.н., доцент кафедры «Материаловедения и технологии машиностроения»

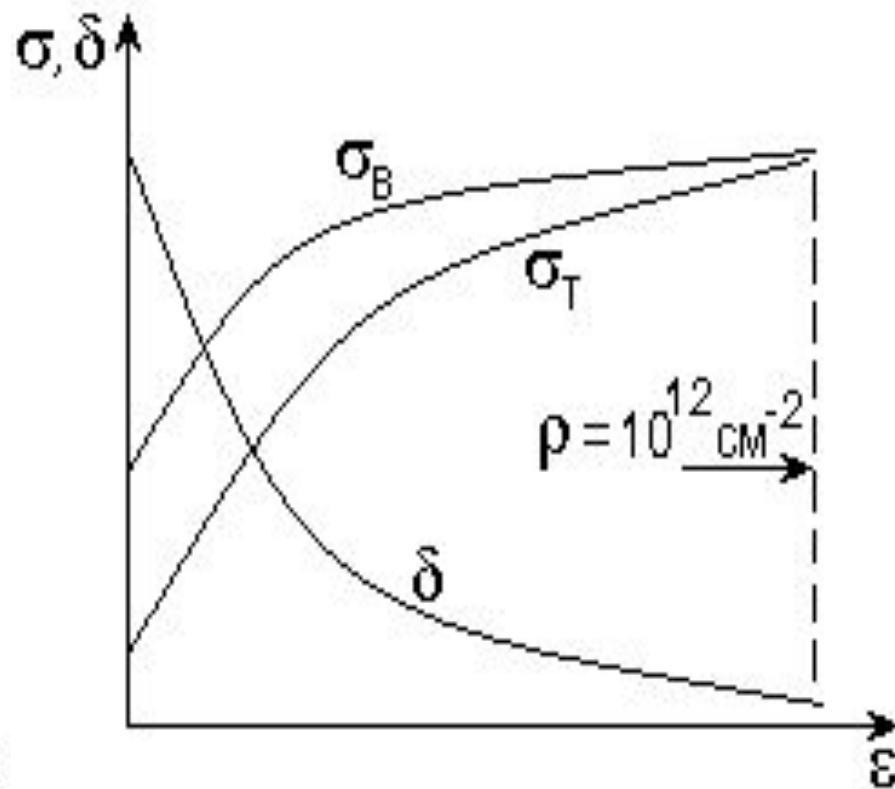
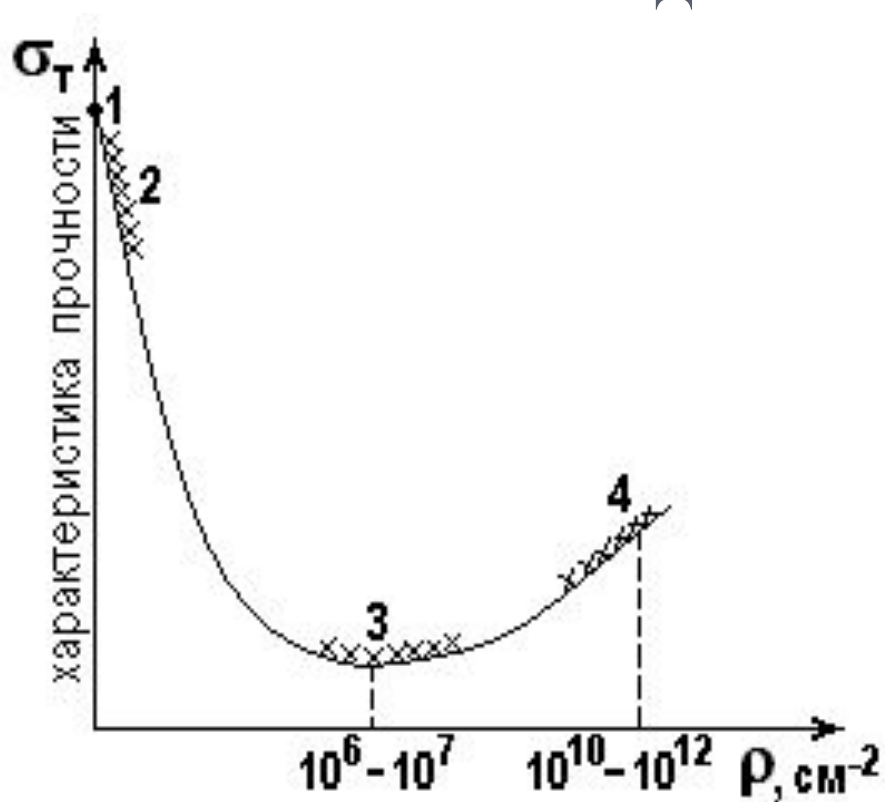
Серов А.В.

# НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ.

- 1. Упрочнение самими дислокациями
- 2. Упрочнение границами зерен
- 3. Упрочнение растворенными атомами примесей
- 4. Упрочнение дисперсными частицами второй фазы



# Влияние плотности дислокаций на прочность

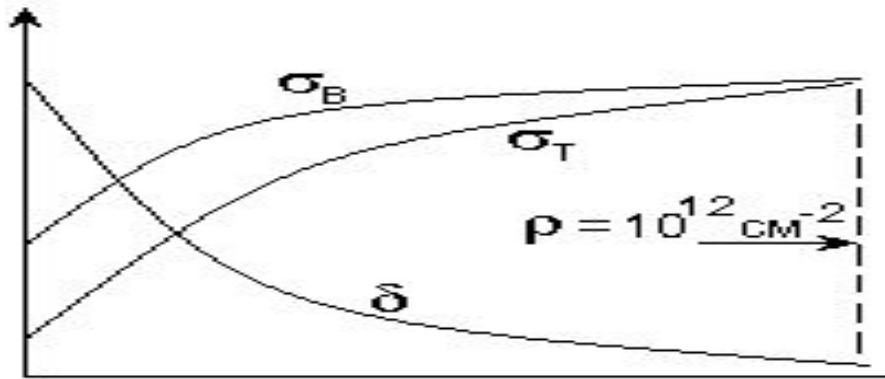
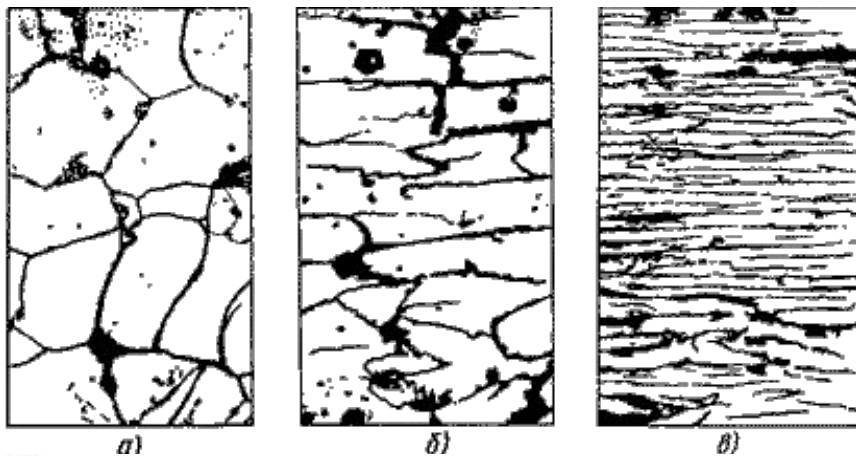


Влияние плотности дислокаций на прочность:

- 1 – идеальный кристалл; 2 – «усь», кристаллы с минимальной плотностью дефектов;
- 3 – отожженные металлы; 4 – сильно деформированные металлы с высокой плотностью дислокаций

## Влияние степени деформации на прочность

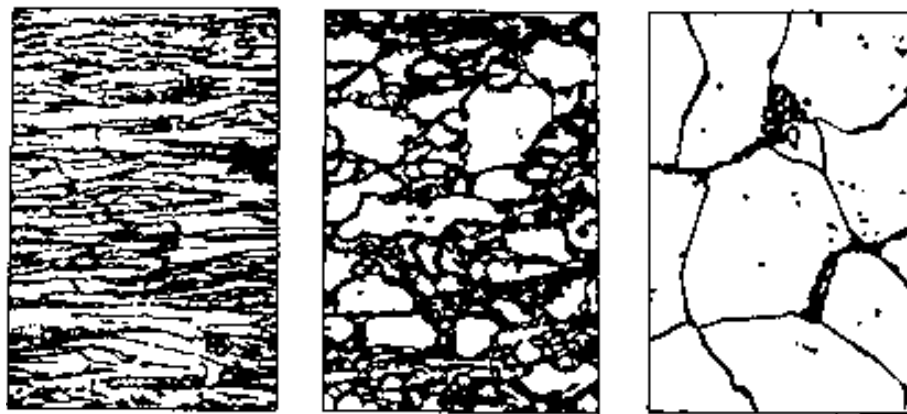
# ХОЛОДНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ (НАКЛЁП, НАГАРТОВКА)



Изменение структуры и свойств при деформации:

- а) до деформации;
- б) после обжатия на 35%;
- в) после обжатия на 90%.

## Рекристаллизация



$$T_{\text{рек}} = k \times T_{\text{п}}, [k]$$

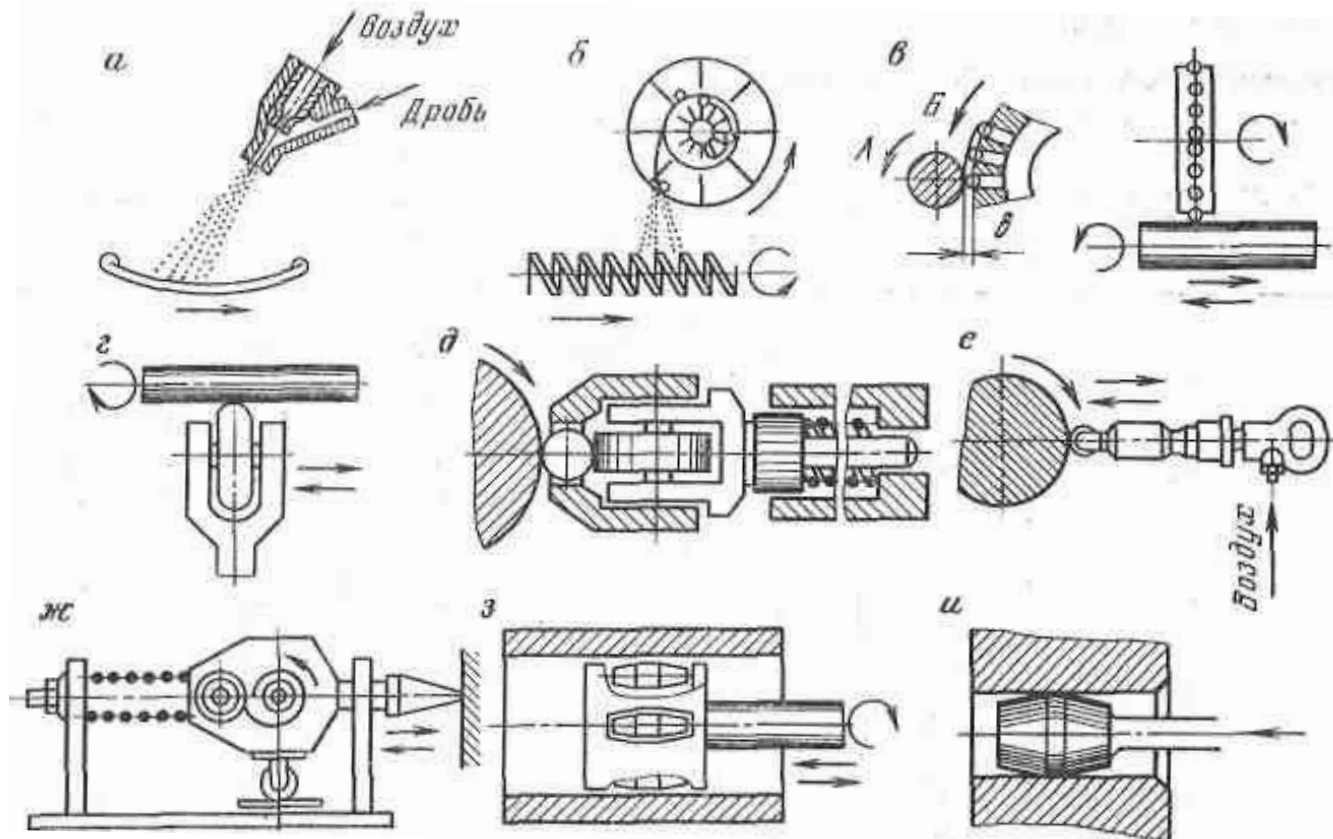
- для технически чистых металлов  $k = 0,4$
- для твёрдых растворов  $k = 0,5 \dots 0,8$
- для металлов высокой чистоты  $0,1 \dots 0,2$

**Возврат (отдых)**

$$T_{\text{воз}} = (0,25 \dots 0,30) \times T_{\text{п}}$$

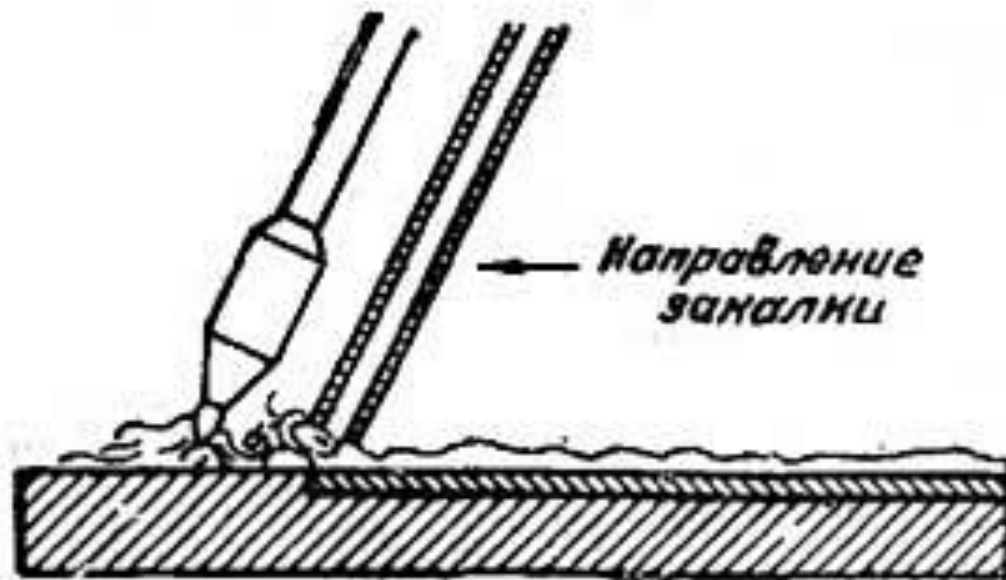


# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ



а) наклеп дробью пневматический и механический; б) наклеп центробежно-шариковый; в) обкатка роликами, д) шариками; е) вибрирующим роликом; ж) наклеп механической чеканкой; з) раскатывание отверстия роликами; и) дорнование.

# ГАЗОПЛАМЕННАЯ ЗАКАЛКА



## 1. Диссоциация

- Образование свободных атомов

## 2. Адсорбция

- Осаждение на поверхности детали

## 3. Диффузия

- Перемещение элемента внутрь



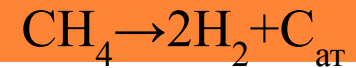
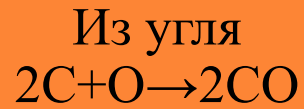
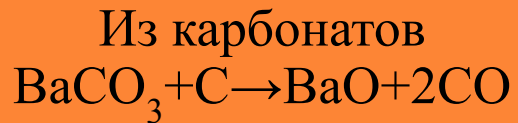
# Цементрация

В твёрдом карбюризаторе

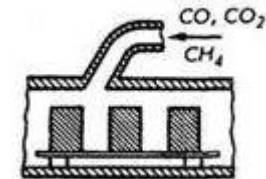
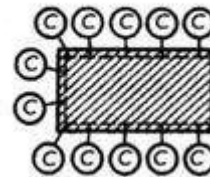
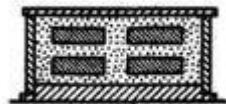
Газовая цементация

Образование оксида углерода

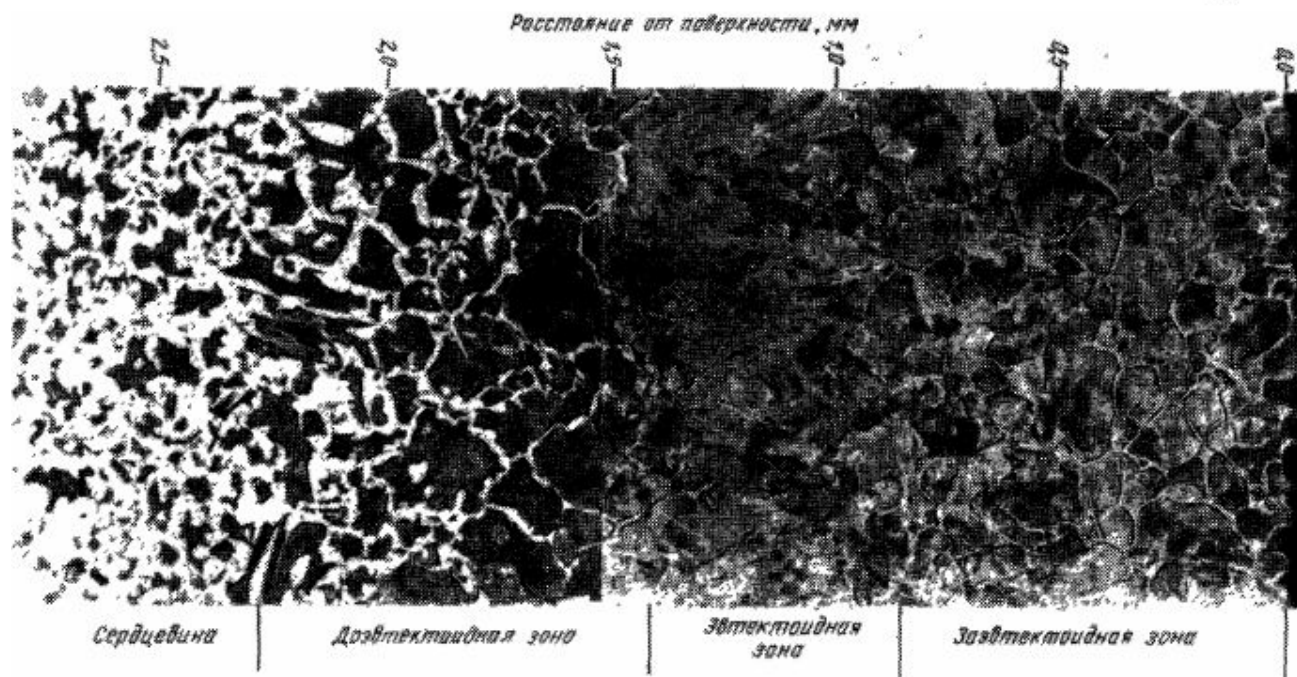
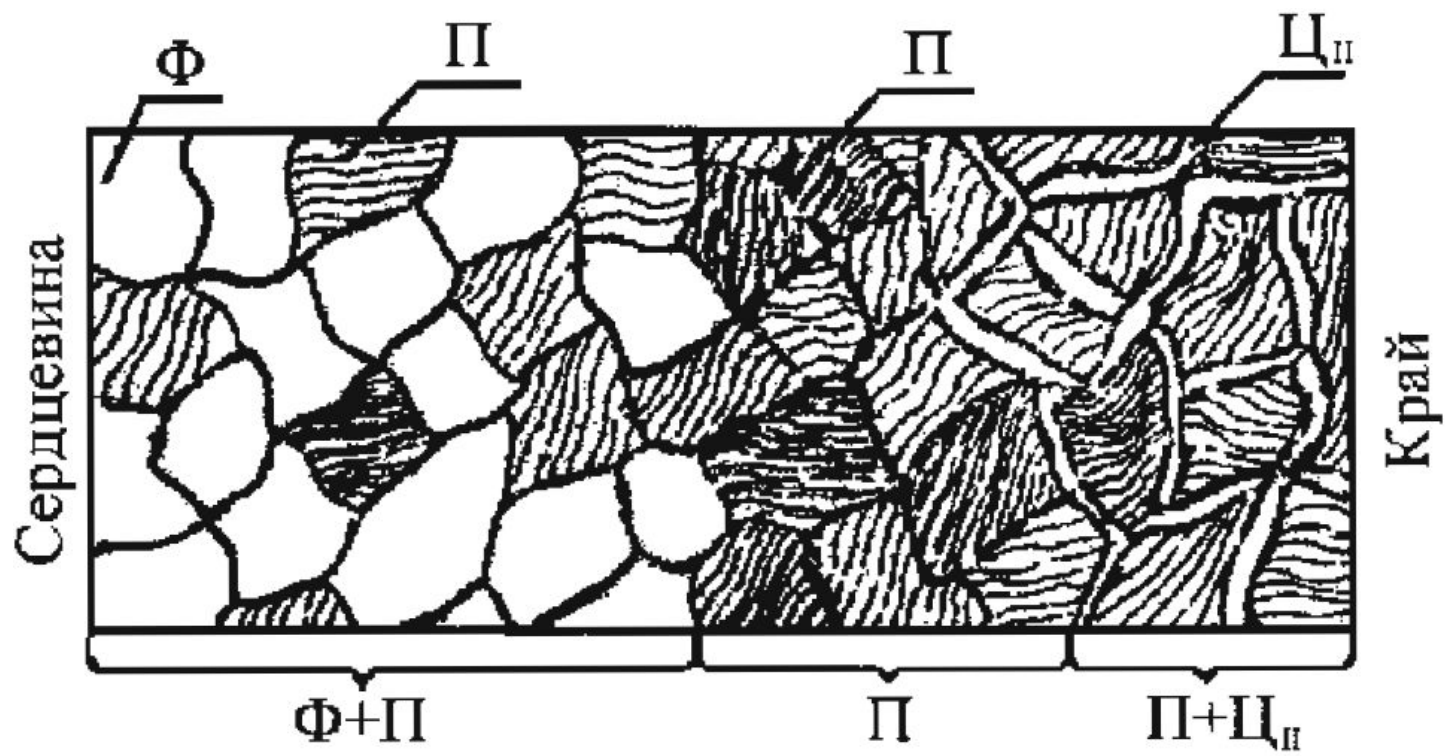
Диссоциация метана



Диссоциация оксида углерода

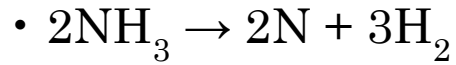






# Азотирование

## Диссоциация аммиака



# Цианирование

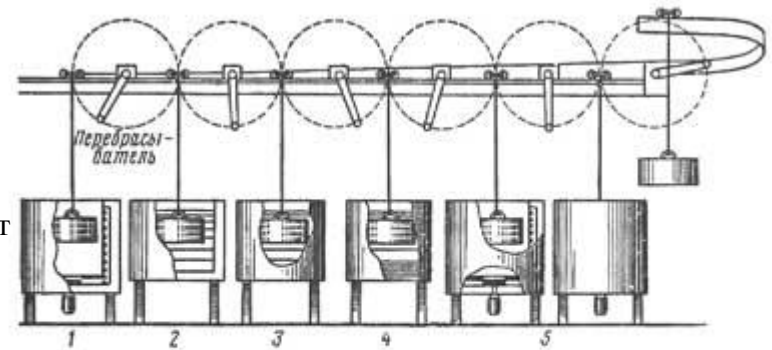
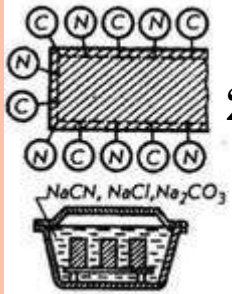
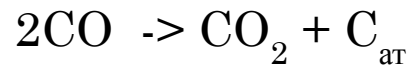
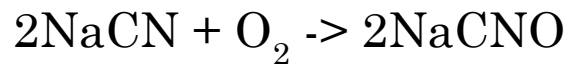


Рис. 157. Поточный агрегат для цианирования и термической обработки изделий:

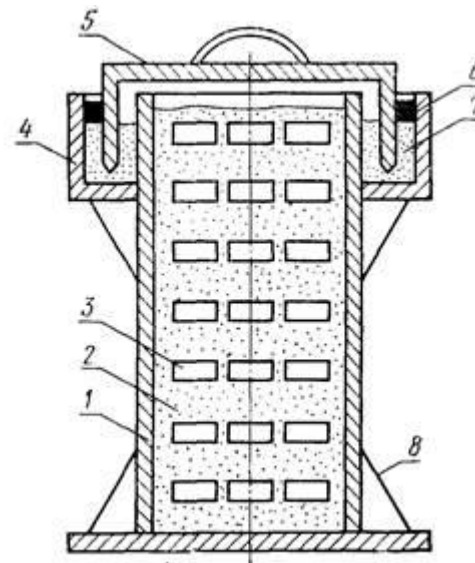
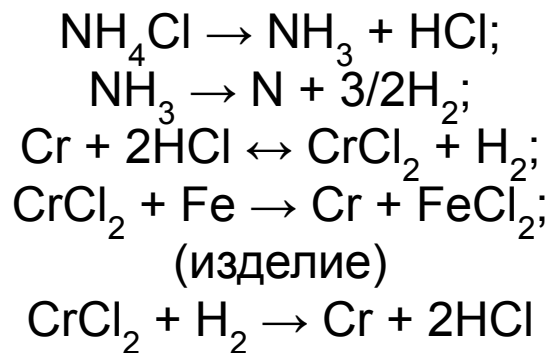
1 — печь для подгрева; 2 — ванна для цианирования; 3 — заклочный бак; 4 — промывная ванна; 5 — отпусные печи

# Нитроцементация



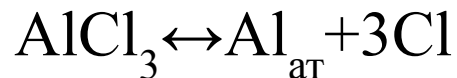
# ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

## Диффузионное хромирование

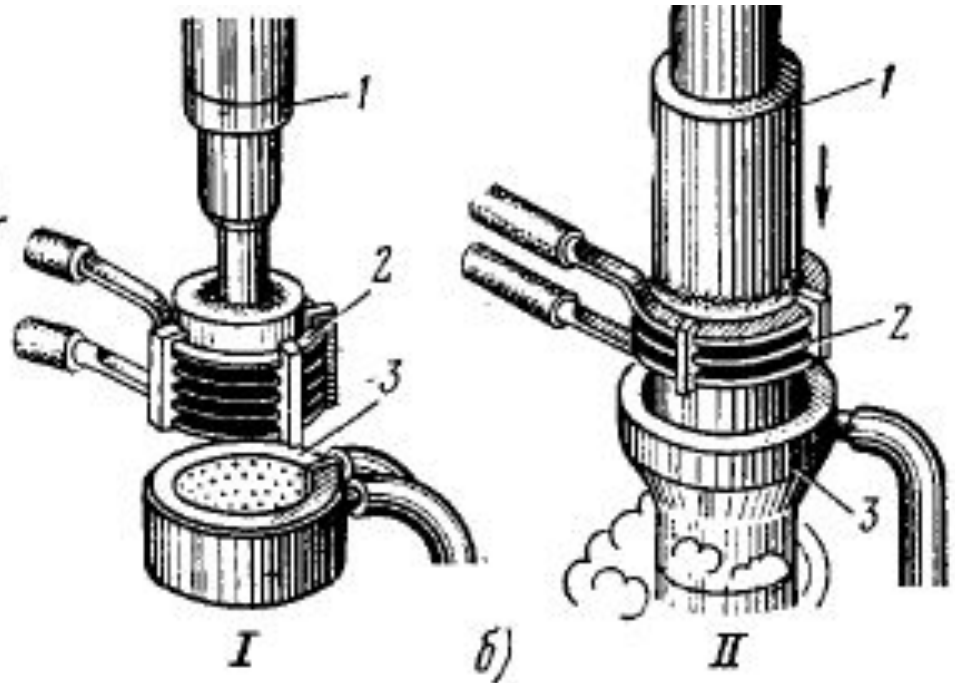
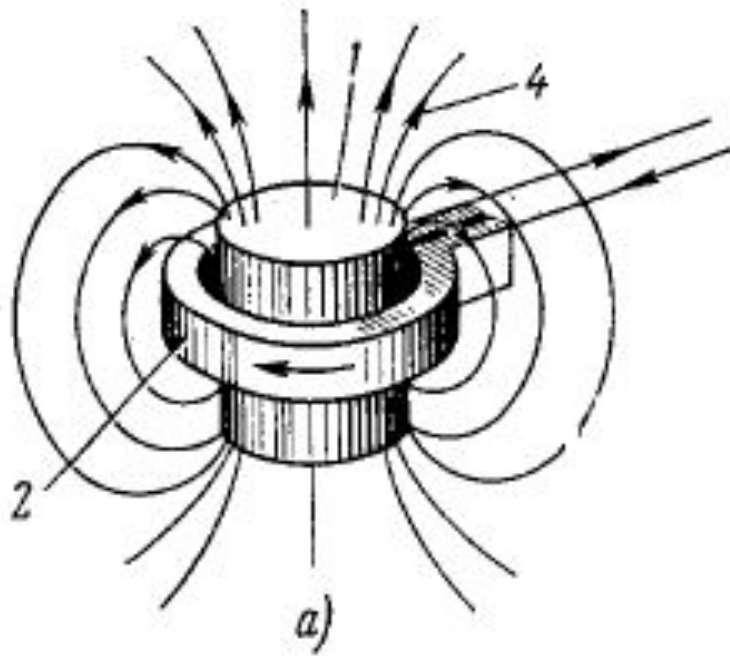


Общий вид контейнера с плавким затвором для диффузионного хромирования малогабаритных изделий  
1 - корпус контейнера; 2 - хромирующая смесь; 3 - изделие;  
4 - корпус плавкого затвора; 5 - крышка контейнера; 6 - натросиликатная глыба;  
7 - песок кварцевый; 8 - ребра жесткости

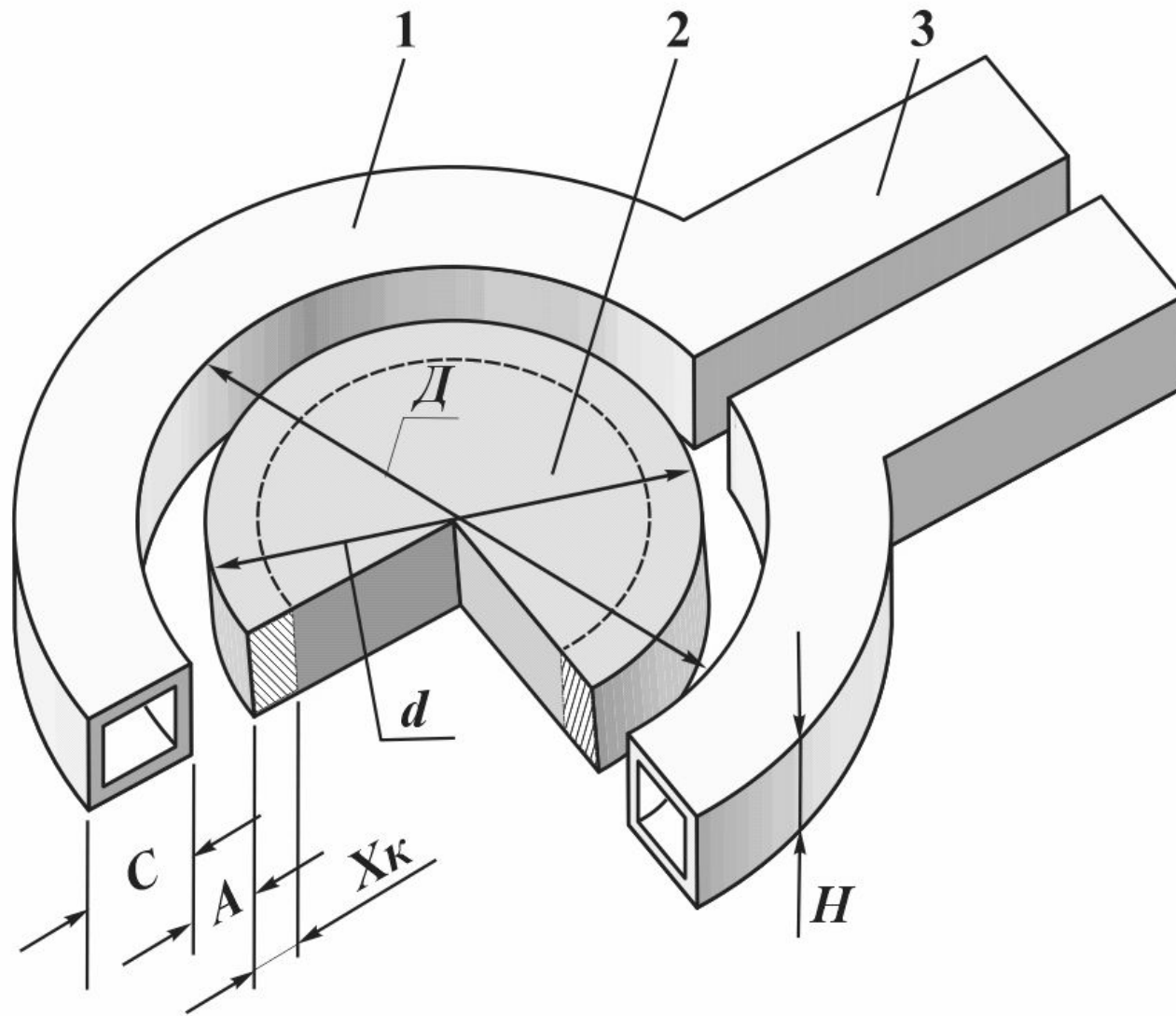
## Алитирование



# ЗАКАЛКА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ЗАКАЛКА ТВЧ)

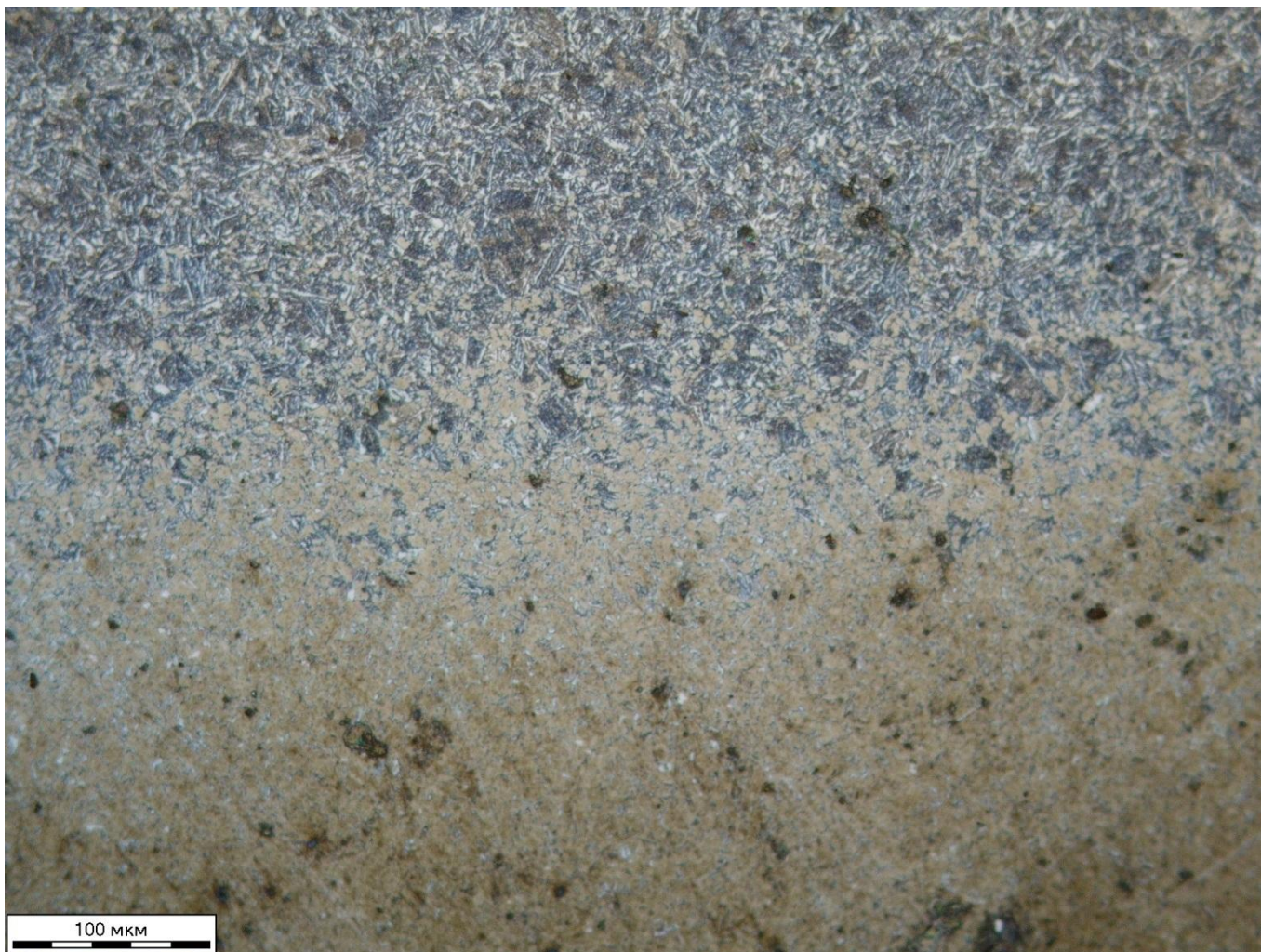


# СИСТЕМА ИНДУКТОР–ДЕТАЛЬ



1 – индуктор, 2 – деталь, 3 – шина,  $H$  – высота индуктора,  $C$  – ширина индуктора,  $A$  – воздушный зазор,  $X_k$  – нагретый слой детали

**Микроструктура поверхностного слоя зуба шестерни после ТВЧ-закалки, x200, травление ниталем:  
поверхность- мелкоигольчатый мартенсит;  
основа – троосто-сорбит.**



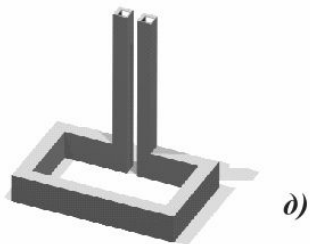
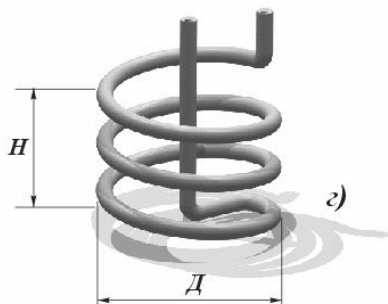
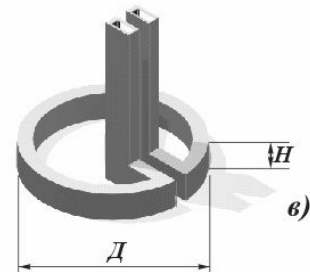
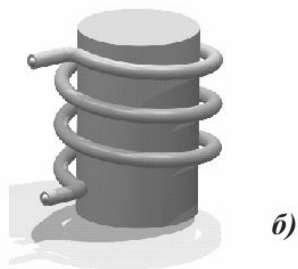
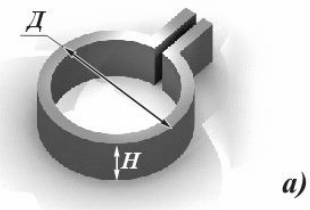
## Индукторы для нагрева ТВЧ:

а, в – одновитковые индукторы для нагрева наружных и внутренних поверхностей цилиндрических деталей;

б, г – многовитковые индукторы для нагрева наружных и внутренних поверхностей цилиндрических деталей;

д – петлевой индуктор для нагрева плоских поверхностей деталей;

е – индуктор фасонной формы для нагрева шестерён



Зависимость глубины закалки от частоты

$$\delta = 4,46 \times 10^5 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

где  $\rho$  – удельное электросопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м  
 $\mu$  – магнитная проницаемость, Гс/э  
 $f$  – частота тока, Гц

Частота тока, Гц	0,5 — 10 <sup>2</sup>	2 • 10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
Глубина проникновения тока в сталь 45 при 800 °С, мм	91,4	14,5	6,5	2,1	0,65

# ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

- высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)

аустенита

- низкотемпературная термомеханическая обработка (аусформинг НТМО)

Между температурой рекристаллизации и температурой мартенситного превращения

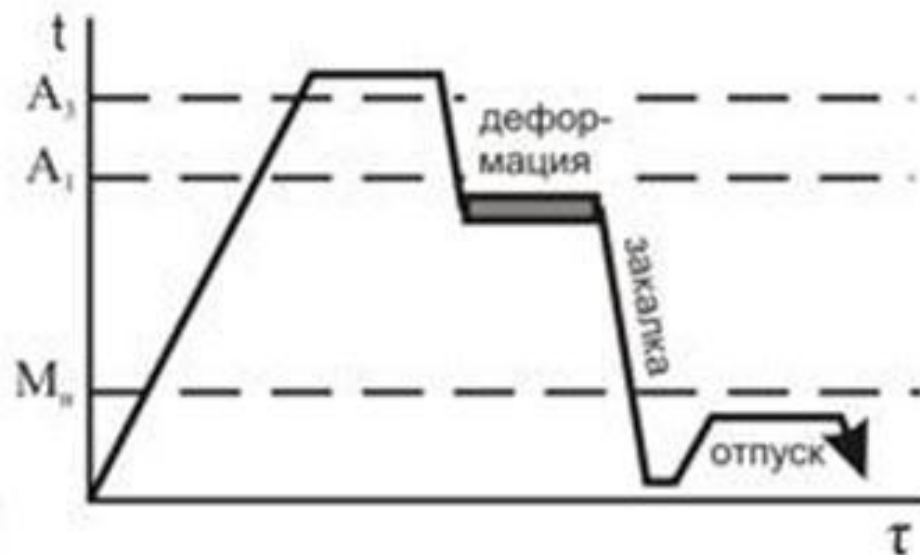
- предварительная термомеханическая обработка (ПТМО)

Вид обработки	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_{0.4}$ , МПа	$\sigma_{0.2}/\sigma_{0.4}$ , %	$\sigma_{0.2}/\sigma_{0.4}$ , %
НТМО	2400...2900	2000...2400	5...8	15...30
ВТМО	2100...2700	1900...2200	7...9	25... 40
ТО	1400	1100	2	3

## Термомеханическая обработка стали

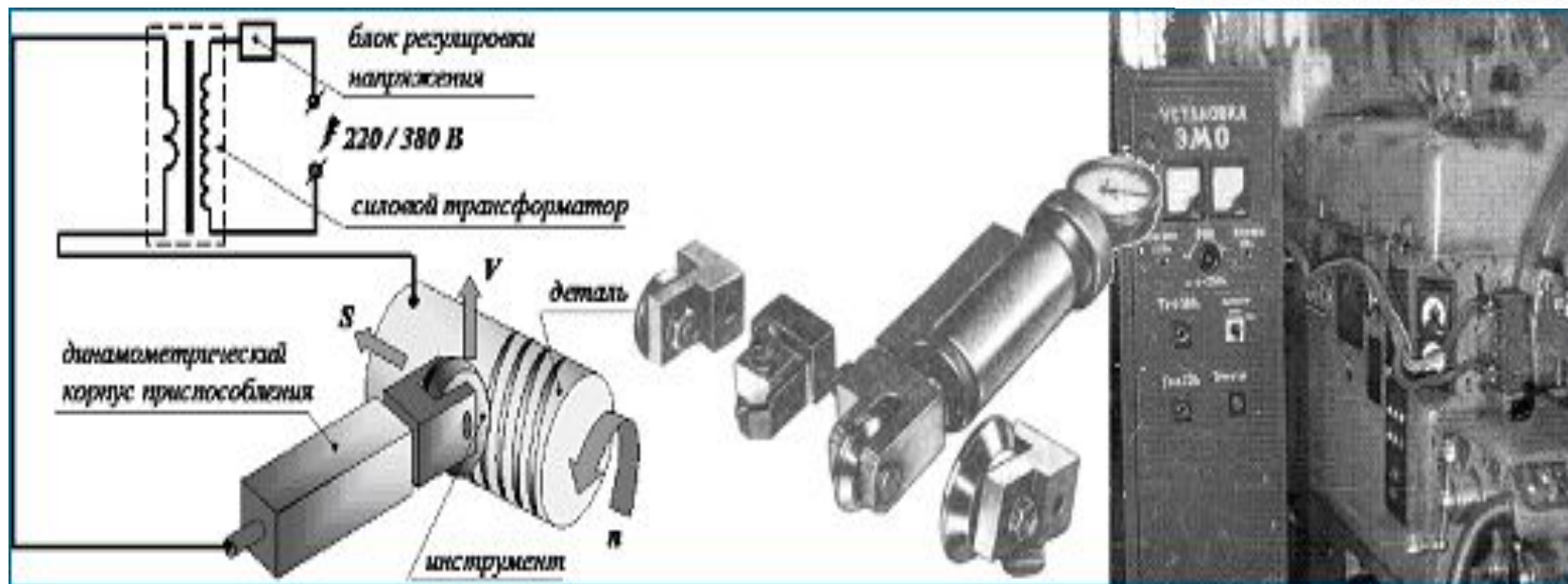
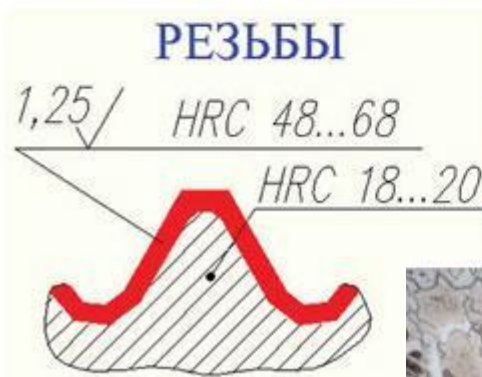
### ВТМО

### НТМО

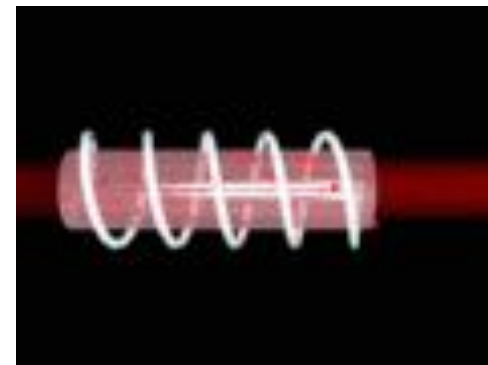
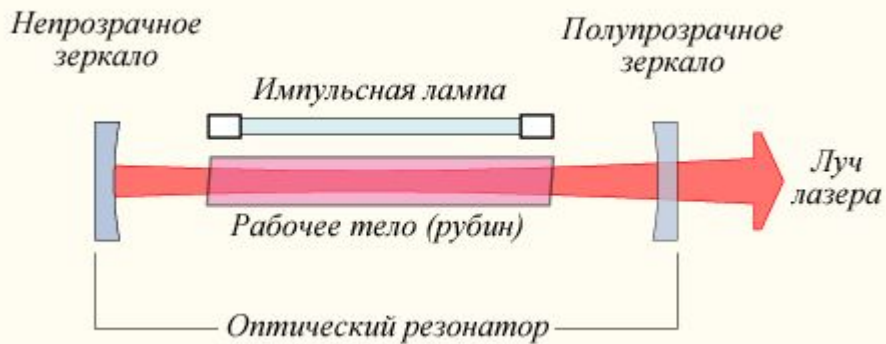
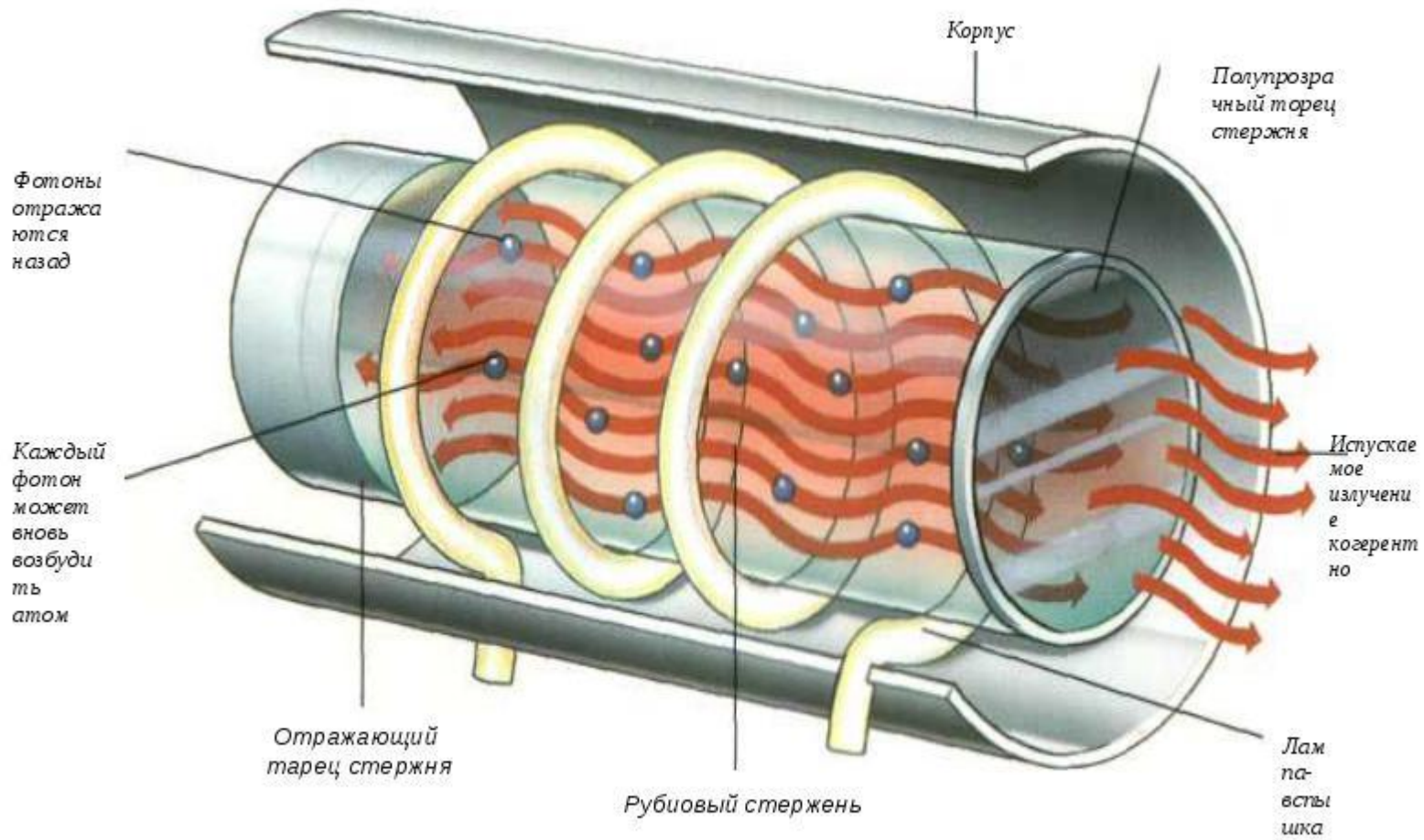




# ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ЭМО)

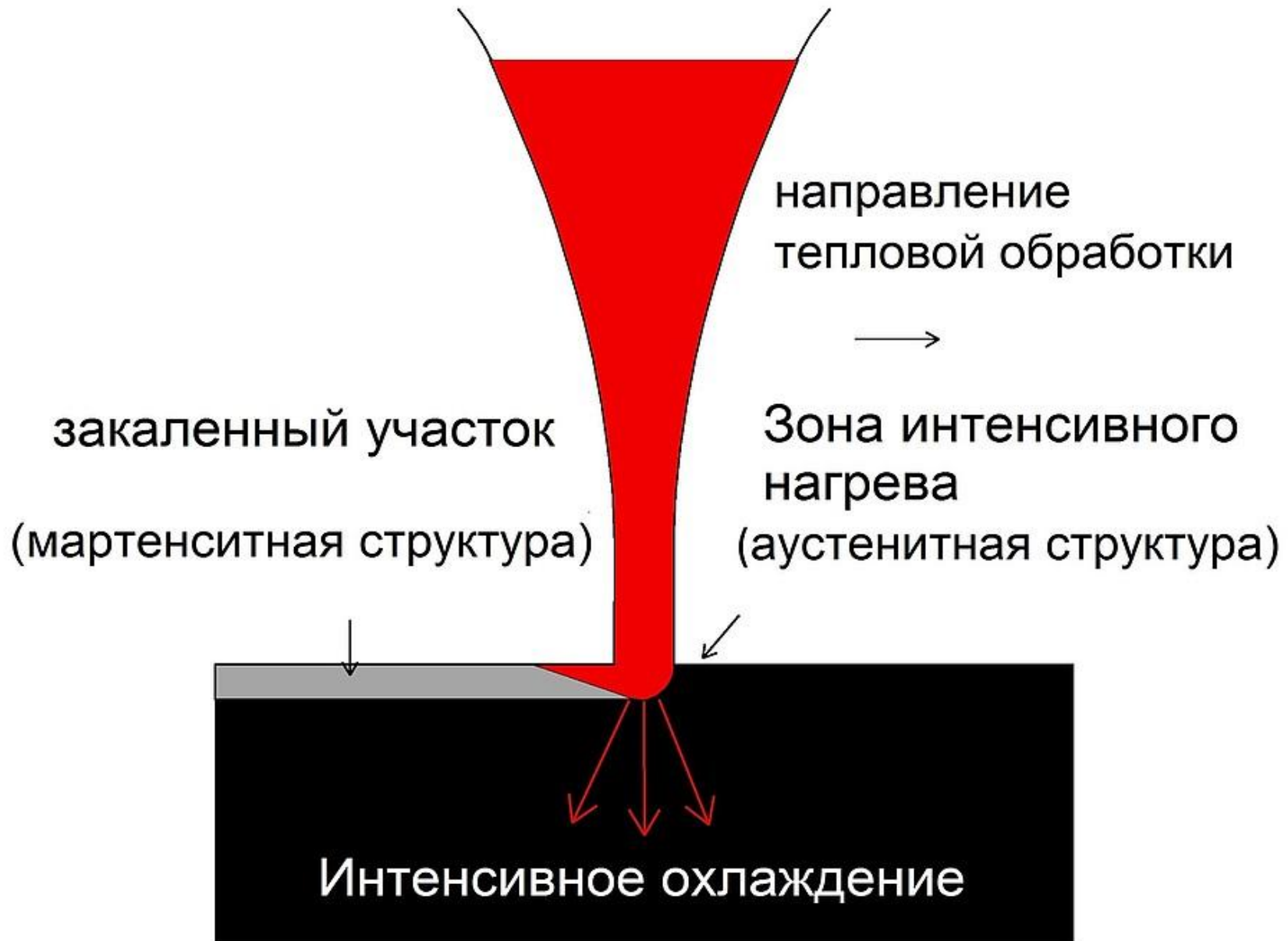


# УСТРОЙСТВО ЛАЗЕРА

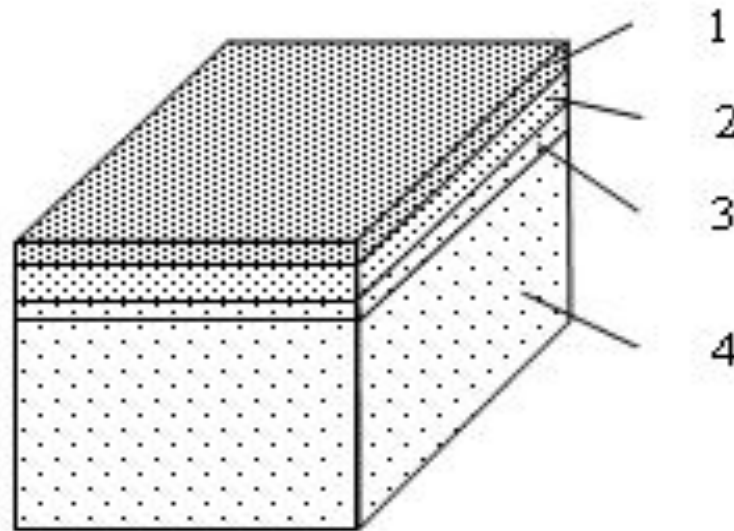


# ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА

Лазерный



# Схема структуры полученной при лазерной термической обработке



Упрочненная поверхность представляет собой:

- 1 - слой зона расплавленного и быстро закристаллизовавшегося металла;
- 2 - зона термического влияния, в которой все структурные изменения происходят в твердом состоянии;
- 3 - переходный слой;
- 4 - материал основы.

# ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ (ЭИЛ)

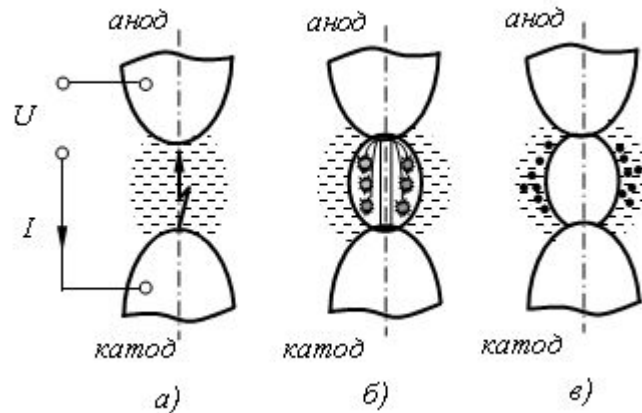


Схема физических процессов в межэлектродном промежутке при электроискровом легировании: а) – этап оплавления; б) – электрическая эрозия; в) - физико-химическое взаимодействие

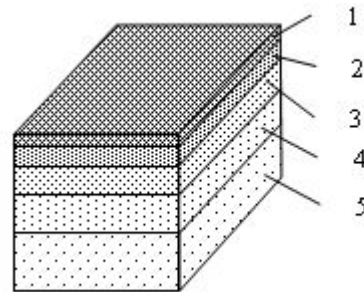


Схема композиционной структуры материала после электроискрового легирования: 1 – зона тонкопленочных или сплошных формирований; 2 – зона смеси материалов анода и катода; 3 – зона сформированная за счет диффузии элементов легирующего электрода в упрочняемой матрице катода-детали; 4 – зона термического воздействия плавно переходящая в структуру основного материала -5.