

# МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Поверхностный слой детали – слой, у которого структура, фазовый и химический состав отличаются от основного материала, из которого сделана дета

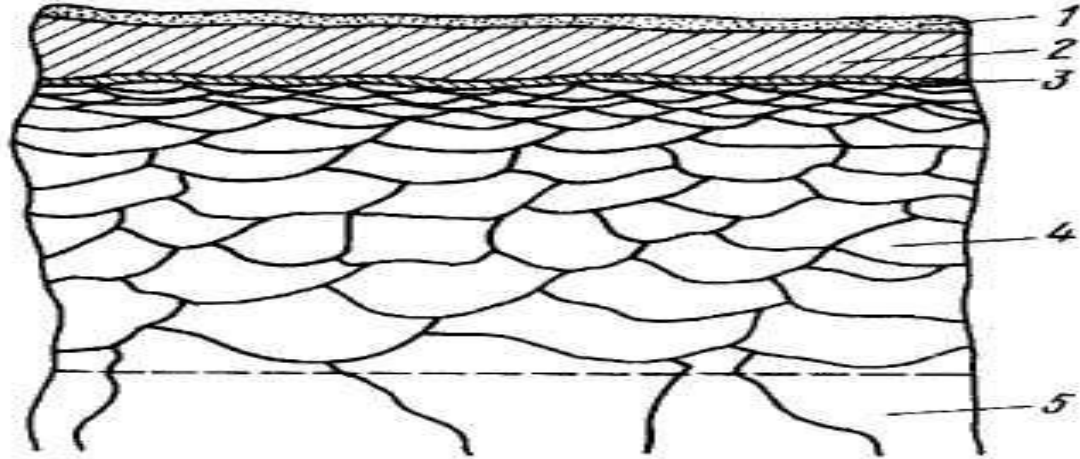


Схема поверхностного слоя детали

- 1) адсорбированных из окружающей среды молекул и атомов органических и неорганических веществ. Толщина слоя 1 - 0,001 мкм;
- 2) продуктов химического взаимодействия металла с окружающей средой (обычно оксидов). Толщина слоя 10 - 1 мкм;
- 3) граница толщиной несколько межатомных расстояний, имеющая иную, чем в объеме, кристаллическую и электронную структуру;
- 4) с измененными параметрами по сравнению с основным металлом;

# МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

## УПРОЧНЕНИЕ ЗА СЧЕТ НАКЛЕПА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

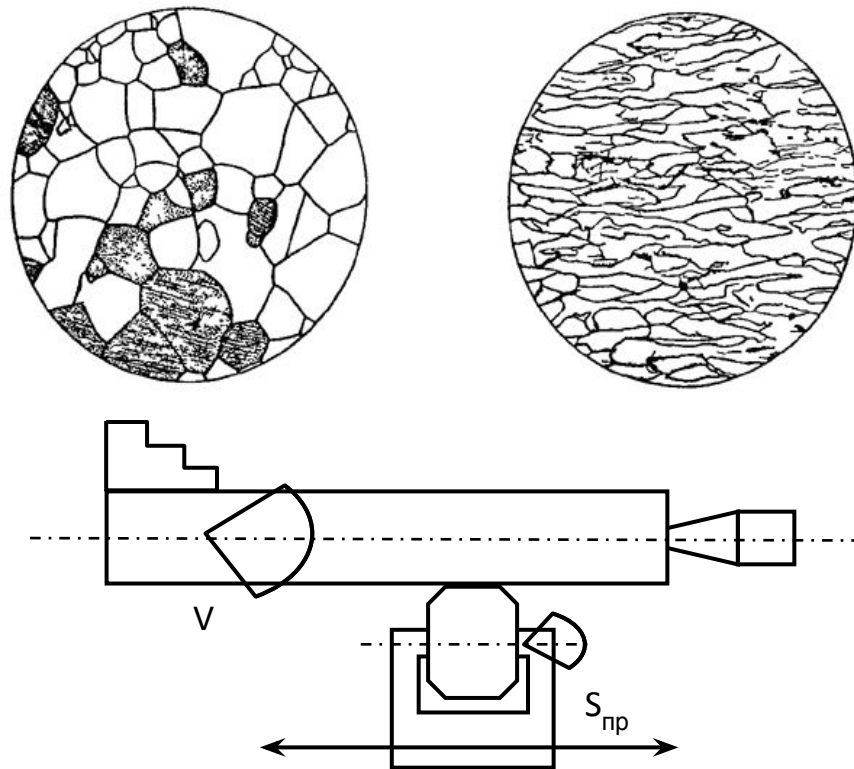
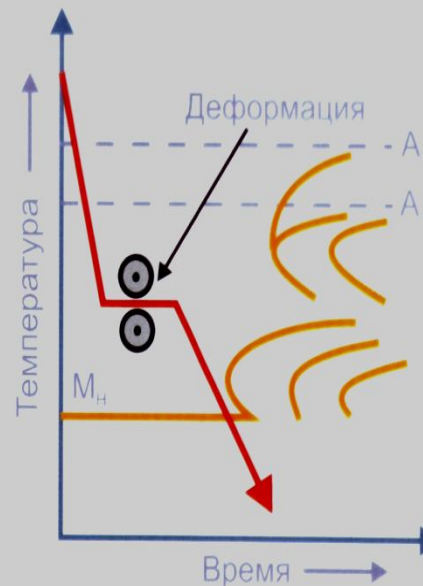


Схема накатки поверхности детали роликом.

## Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)

**НТМО** заключается в совмещении интенсивной пластической деформации переохлажденного аустенита в температурном интервале его высокой устойчивости, с последующей закалкой на мартенсит и отпуском.



Деформацию прокаткой, экструзией или волочением проводят при 600-400°С с обжатиями 70-95%.

Для легированных сталей НТМО позволяет получить высокий уровень прочностных свойств.

Свойства сталей после отпуска при 220°С

Марка стали	Обработка	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
37ХН3А	Обычная термообработка	1300	1900	6
	НТМО с деформацией при 525°С на 70% прокаткой	2600	2800	5

# Поверхностная закалка стали

:Для получения большой твердости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины применяют поверхностную закалку. Методы высокоскоростного нагрева под закалку

- 1) В расплавленных металлах или солях;
- 2) Пламенем ацетиленоxygenной горелки;
- 3) Лучом лазера (лазерная закалка)
- 4) Электрическими (электроконтактный, индукционный или высокочастотная закалка)  $Q = J^2 R t$ .

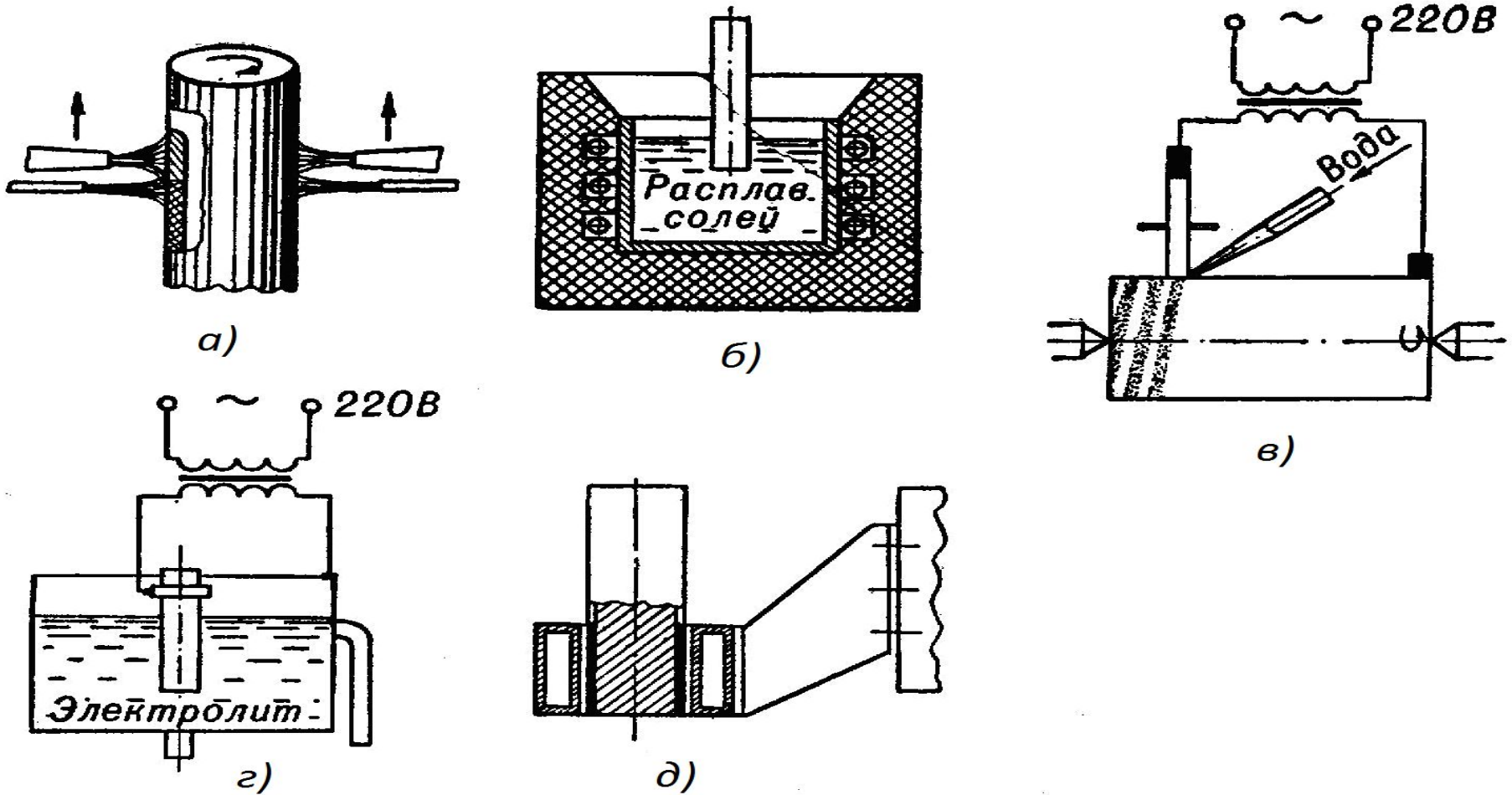
Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в высокоскоростном нагреве поверхностного слоя детали выше критических точек и быстрое охлаждение - слой металла, нагретый выше  $A_{C3}$  получит полную закалку.

## Высокочастотная закалка

Наиболее распространенное применение получил метод нагрева в индукторе, известный как нагрев токами высокой частоты (ТВЧ)



## Методы поверхностной закалки



### Основные методы поверхностного нагрева:

- а – газопламенный нагрев;
- б – нагрев в расплавленных солях;
- в – электроконтактный нагрев;
- г – нагрев в электролите;
- д – индукционный нагрев ТВЧ

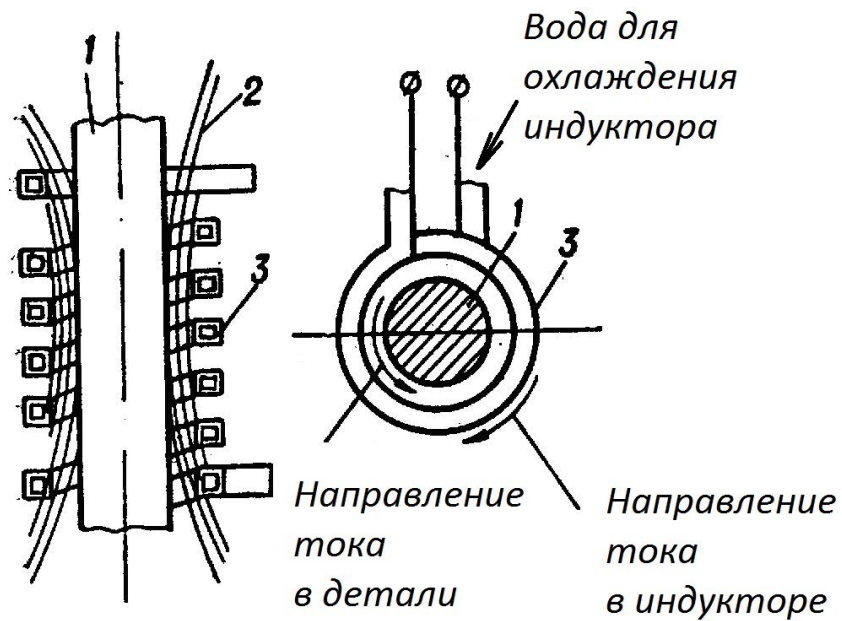


Схема индукционного нагрева:

- 1 – деталь,
- 2 – индуктор,
- 3 – силовые линии магнитного поля

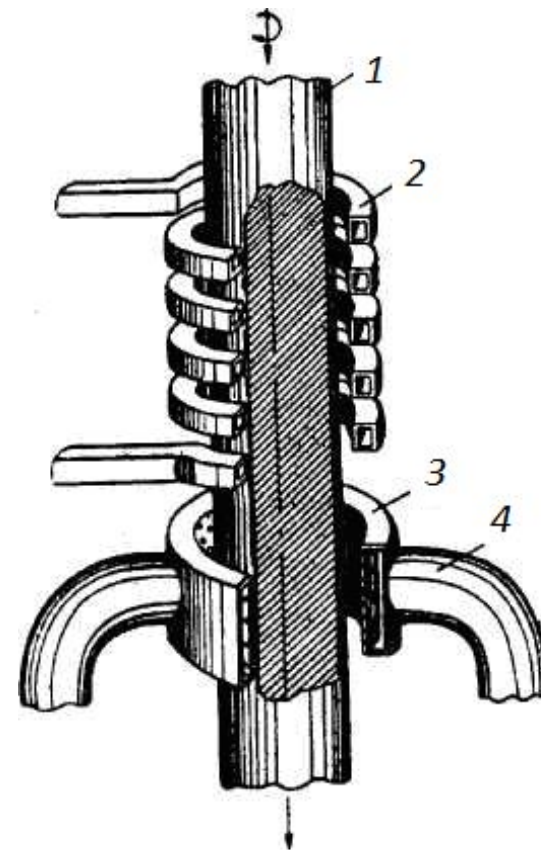
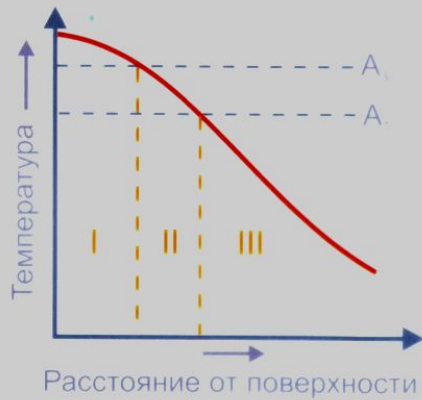


Схема непрерывно-последовательной закалки вала в пятивитковом индукторе

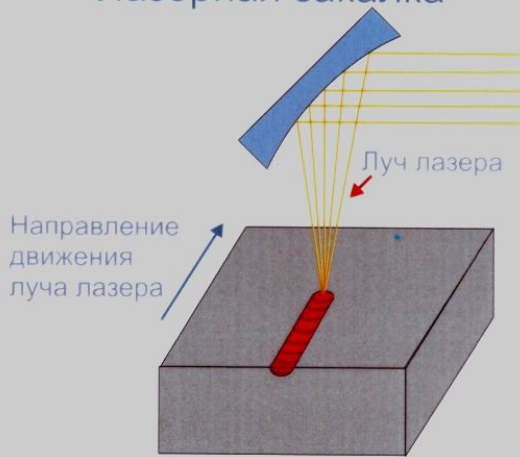
# МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

## ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА

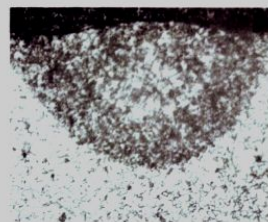
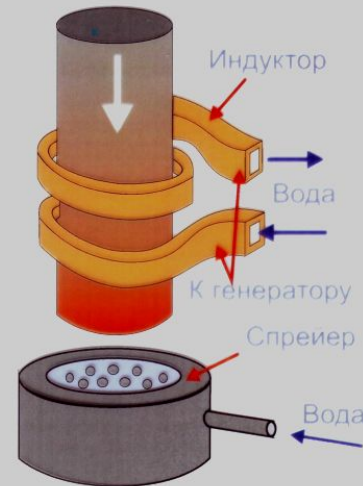
### Поверхностная закалка



### Лазерная закалка



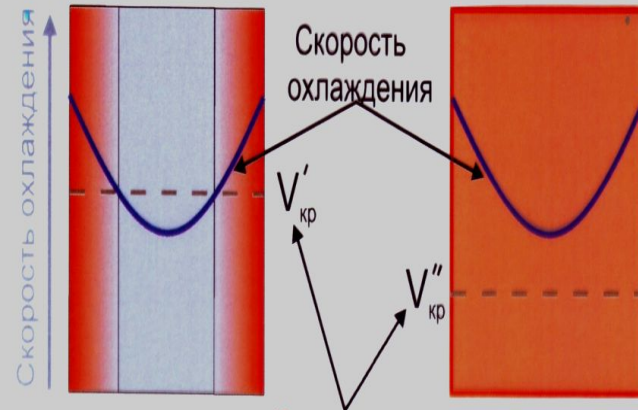
### Закалка с нагревом ТВЧ



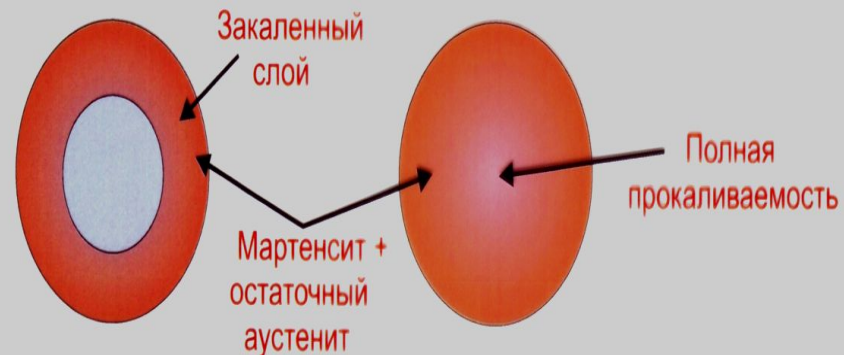
Сталь 20

### Прокаливаемость стали

Под прокаливаемостью понимают глубину проникновения закаленной зоны



Критическая скорость закалки



## · Фазовые превращения при индукционном нагреве

Важнейшие особенности фазовых превращений при нагреве ТВЧ:

1. Фазовые превращения протекают одновременно во всем нагреваемом слое, так что к моменту закалки температура по всему слою практически одинакова - уменьшается опасность перегрева;
  - одинаковые структура и свойства во всем закаленном слое;
2. При высокой скорости нагрева фазовые превращения, кинетика которых определяется диффузионными процессами, смещаются в область более высокой температуры. Верхнее значение интервала  $A_{C1}$  может быть выше температуры полиморфного превращения феррита. Например, температура  $A_{C3}$  при скорости нагрева  $120^{\circ}/с$  стали с содержанием углерода  $0,75\%$  -  $920^{\circ}С$  вместо  $780^{\circ}$  по диаграмме состояния. Необходимо выбирать частоту тока так, чтобы глубина его проникновения была равна или близка к толщине закаленного слоя.

Частота тока, гц

$10^8$

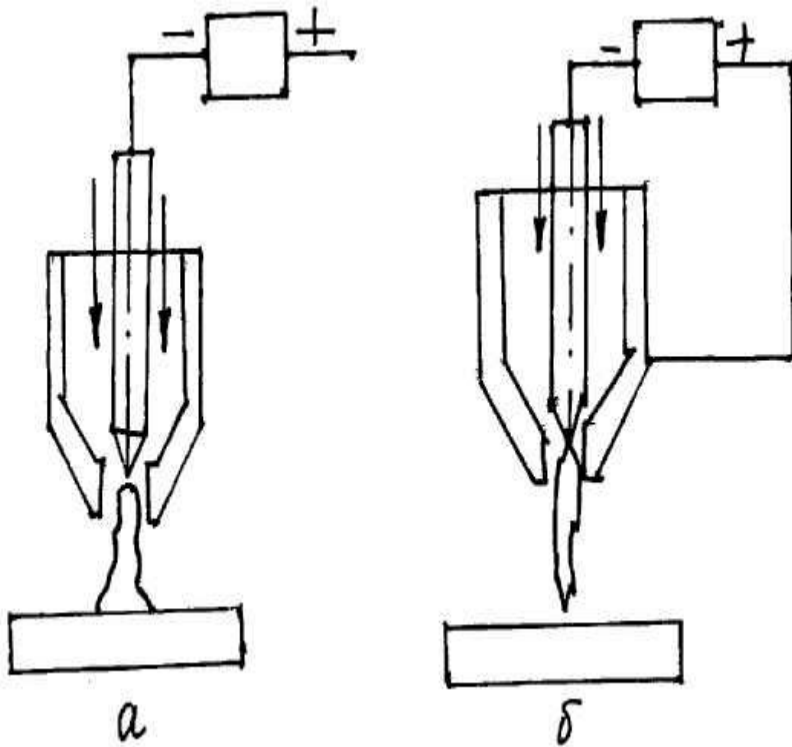
$10^6$

$10^5$

Глубина проникновения тока, мм

$$\delta = \frac{0,0022}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}$$

# ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ



Схемы плазматронов:

а – с открытой дугой,

б – с замкнутой дугой – струей.



*Общий вид установки для плазменной закалки*

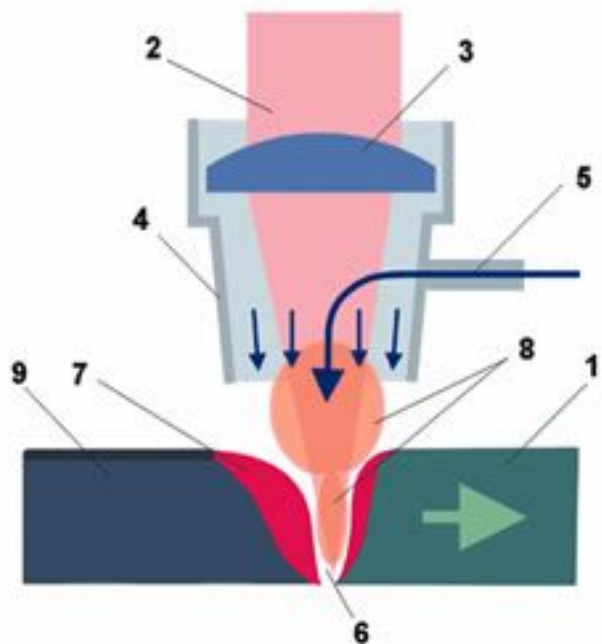


# Фазовые превращения при лазерной закалке

Отличительной чертой лазерного нагрева является подавление диффузионных процессов перераспределения углерода в аустените в связи с кратким временем пребывания металла при высоких температурах. Механизм образования аустенита при этом зависит от исходной структуры стали. Поэтому при нагреве сталей с феррито-перлитной структурой образуется неоднородная структура, состоящая из участков высокоуглеродистого мартенсита малоуглеродистого феррита. Эти два типа участков очень сильно различались по твердости. Такое различие сохранялось вплоть до температуры плавления, по этой причине стали с феррито-перлитной структурой не подвергаются лазерной закалке. При лазерном нагреве сталей с мартенситной или бейнитной структурой происходит ориентированное образование аустенита, сопровождающееся воспроизведением размера, формы и ориентации первоначальных зерен аустенита. Этот эффект структурной наследственности проявляется при лазерном нагреве более широко, чем при обычном нагреве. В связи с этим формируется более однородная структура закаленной стали с одинаковой твердостью по всей зоне воздействия лазерного пучка.



# Схема и общий вид установки для лазерной обработки металла



- 1- обрабатываемый металл, 2 - лазерный пучок,
- 3 – фокусирующая линза,
- 4 - сопло с потоком защитного газа, 5 - подача защитного газа (He+Ar),
- 6 - парогазовый канал в металле,
- 7 - кристаллизационная ванна жидкого металла
- 8 - лазерная плазма (приповерхностная и внутриканальная)
- 9-кристаллизовавшийся металл

# МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

## ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

**ХТО** – называют поверхностное насыщение стали каким-либо химическим элементом (углеродом, азотом, бором и т. п.) путем его диффузии из внешней среды. Изделие помещают, в среду богатую элементом (**КАРБЮРИЗАТОР**), и нагревают.

Происходят следующие процессы:

**ДИССОЦИАЦИЯ** – распад молекул карбюризатора и образование атомов диффундирующего элемента;

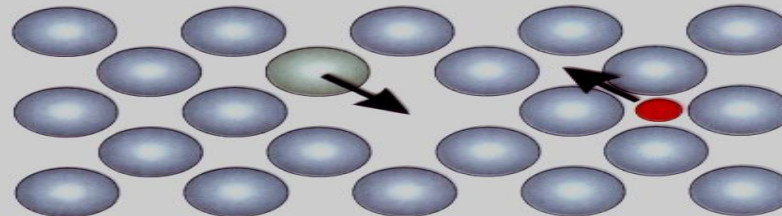
**адсорбция** – поглощение атомов элемента поверхностью детали;

**диффузия** – проникновение атомов элемента от поверхности вглубь металла (в поверхностные слои детали).

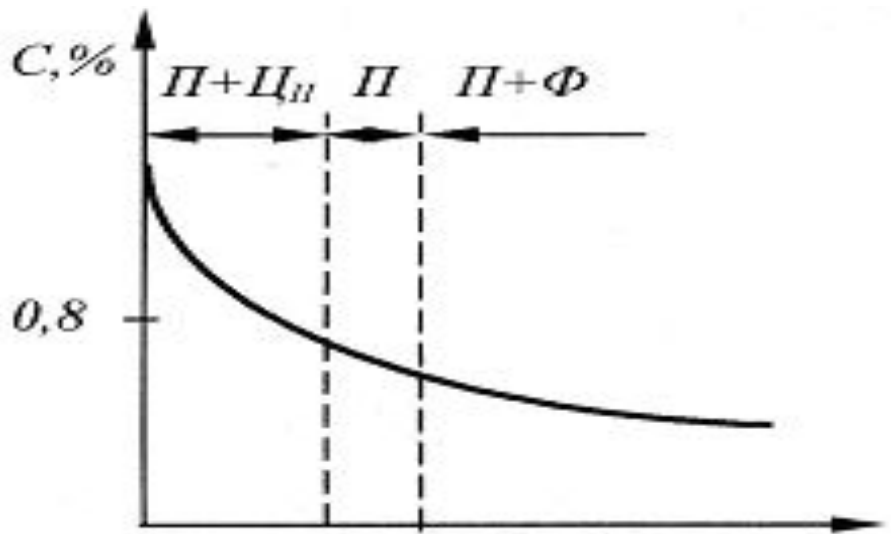
### Диффузия в металлах

Под диффузией понимают перемещение атомов в кристаллическом теле на расстояния, превышающие средние межатомные для данного вещества

Диффузия может осуществляться по **вакансионному** и **межузельному** механизмам.

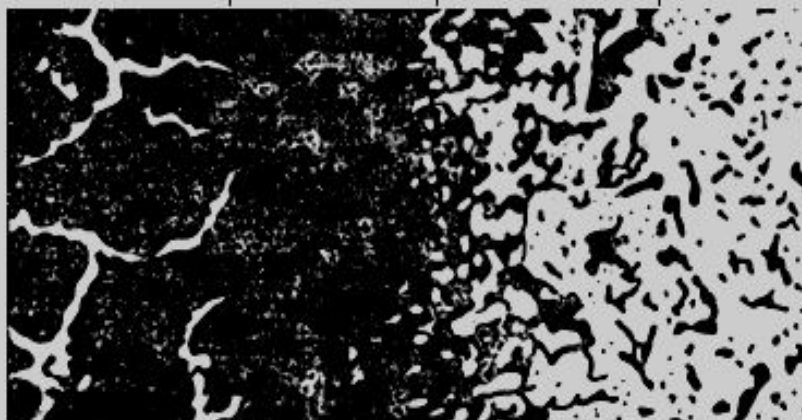


# МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА



Расстояние от поверхности

0,5      0,8      1,5 мм



Заэвтектоидная зона

Эвтектоидная зона

Доэвтектоидная зона

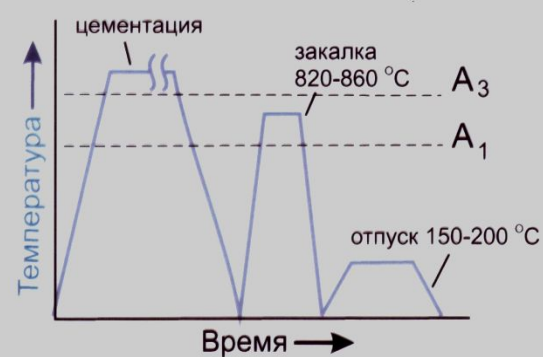
## Термическая обработка цементованных изделий

Она заключается в закалке и низком отпуске. После такой термической обработки твердость поверхностного слоя детали достигает **58-62 HRC** при твердости сердцевины **25-35 HRC** и ниже.

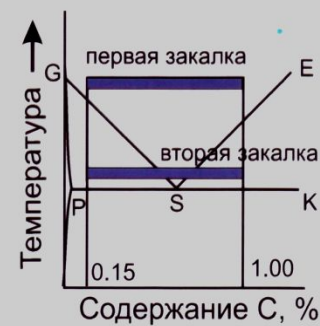
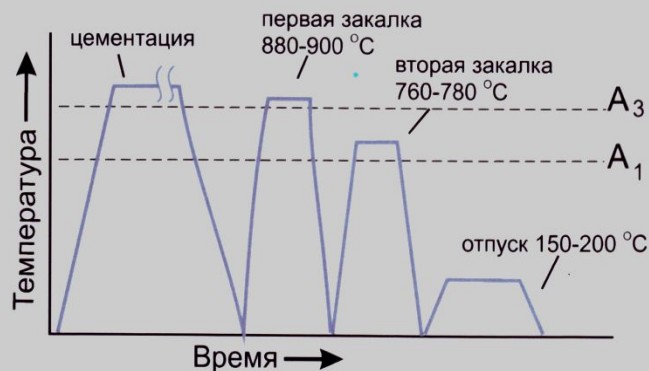
Закалка с цементационного нагрева



Однократная закалка



Двойная закалка



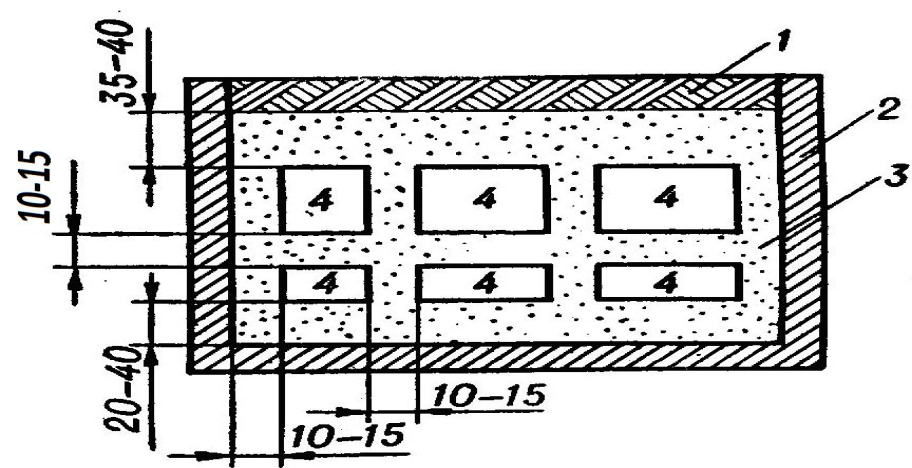
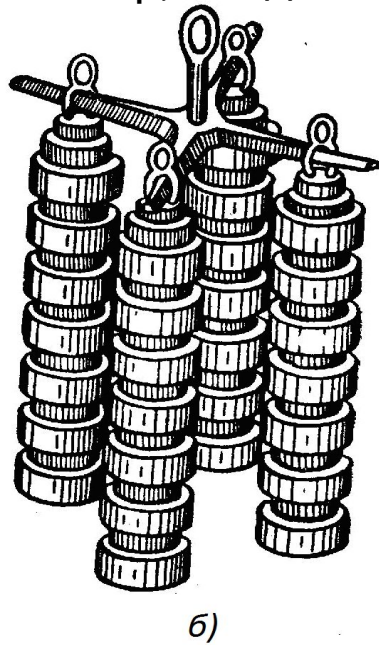
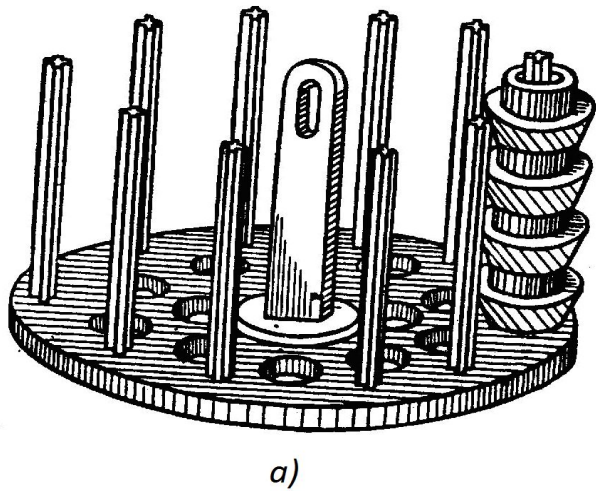
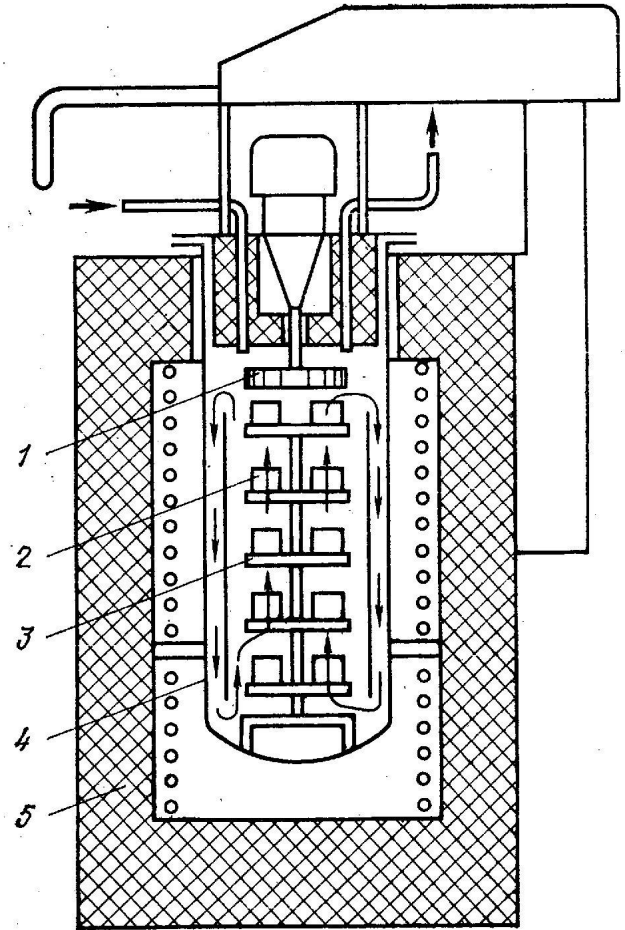


Схема упаковки деталей в цементационный ящик:  
 1 – обмазка; 2 – ящик; 3 – карбюризатор; 4 – детали



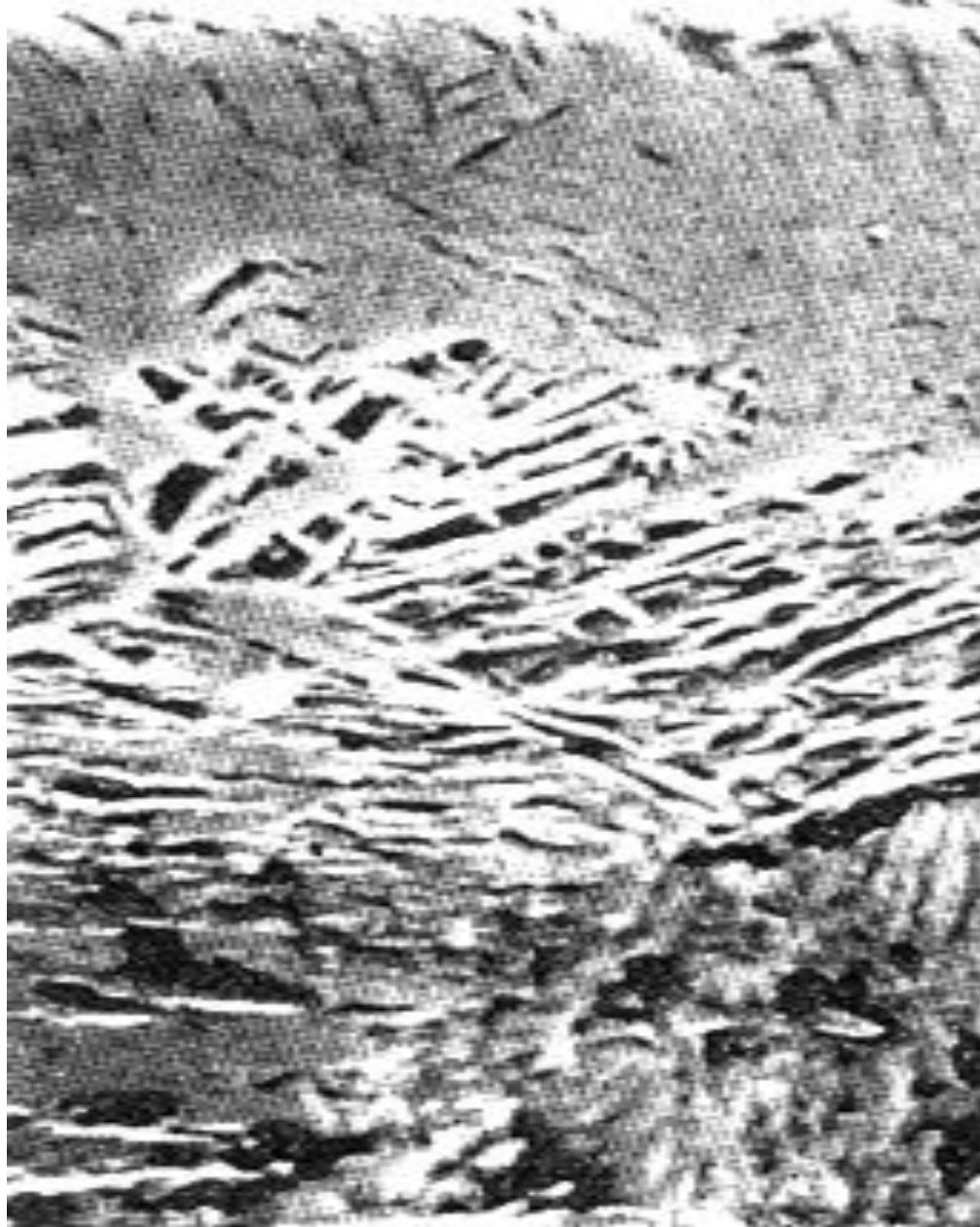
Приспособление для цементации зубчатых колес средних и мелких размеров (а) и крестовина со штангами для подвески зубчатых колес



Общий вид шахтной печи для цементации стали:

- 1 – вентилятор;
- 2 – цементуемые изделия;
- 3 – приспособления для укладки деталей;
- 4 – контейнер;
- 5 – электропечь

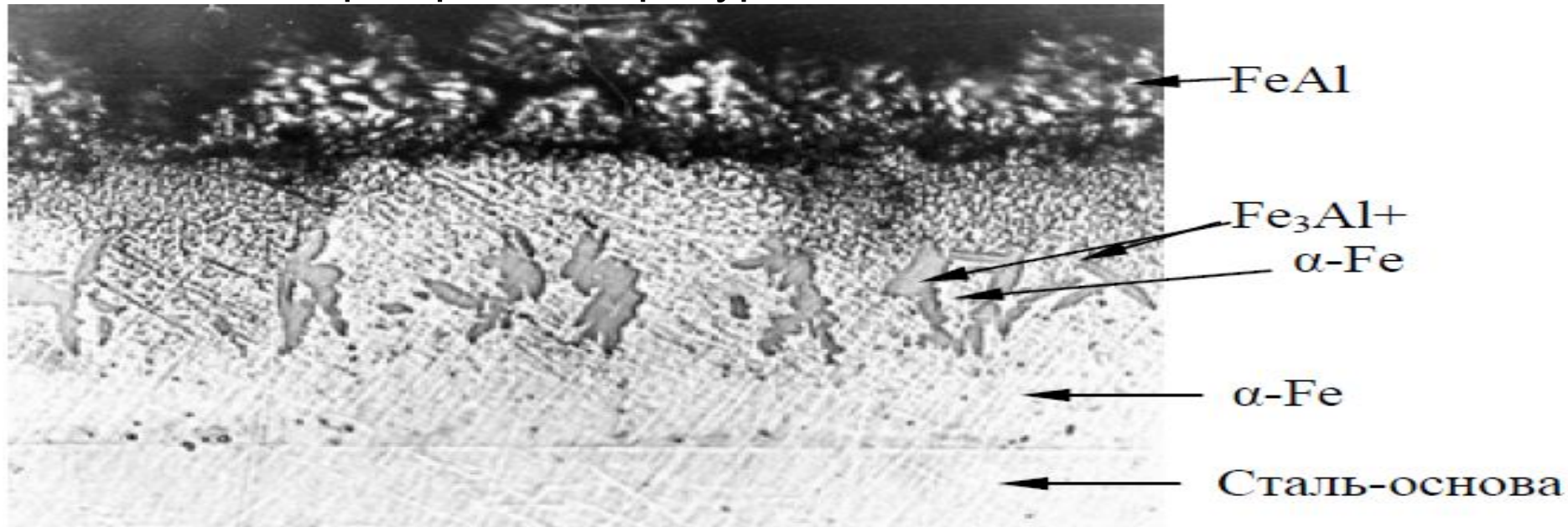
# Микроструктура азотированного слоя на стали 38Х2МЮА



- Внешний слой –  $\epsilon$ -фаза  $Fe_{2-3}N$
- II слой -  $\gamma'$  -  $Fe_4N$
- III слой – азотистый феррит ( $\alpha$ )

## ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

**Алитированием** называется химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя сталей и сплавов алюминием при нагреве в порошковой среде, содержащей источник алюминия (порошок чистого алюминия или сплавов Fe-Al, Ni-Al, Co-Al), галогенидный активатор ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ , NaF,  $\text{AlF}_3$ ) и инертный наполнитель ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  или  $\text{SiO}_2$ ). Как правило, алитирование выполняют в герметичных контейнерах или из шликера при температурах 900-1050°C.



*Микроструктура алюминидного покрытия на стали 45X*