

Направление подготовки бакалавров  
«Химическая технология»

# Материаловедение и технология конструкционных материалов



Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,  
доцент



## **Тема 14. Химико-термическая обработка сталей.**

**1.1. Понятие химико-термической обработки.**

**1.2. Цементация.**

**1.3. Азотирование.**

**1.3. Нитроцементация.**

**1.3. Цианирование.**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**Химико-термическая обработка** (ХТО) – технологический процесс, сочетающий в себе химическое и термическое воздействие на металл с целью улучшения его поверхностных свойств.

Виды ХТО:

- 1. Цементация;**
- 2. Азотирование;**
- 3. Нитроцементация;**
- 4. Цианирование.**
5. Борирование
6. Термохромирование
7. Термоалитирование и т.д.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Химико-термическая обработка

Цель химико-термической улучшить поверхностные свойства деталей, что достигается диффузией упрочняющего компонента.

После диффузии в поверхностном слое образуются: 1. Твердый раствор диффундирующего компонента.  
2. Химические соединения металла с диффундирующим компонентом.

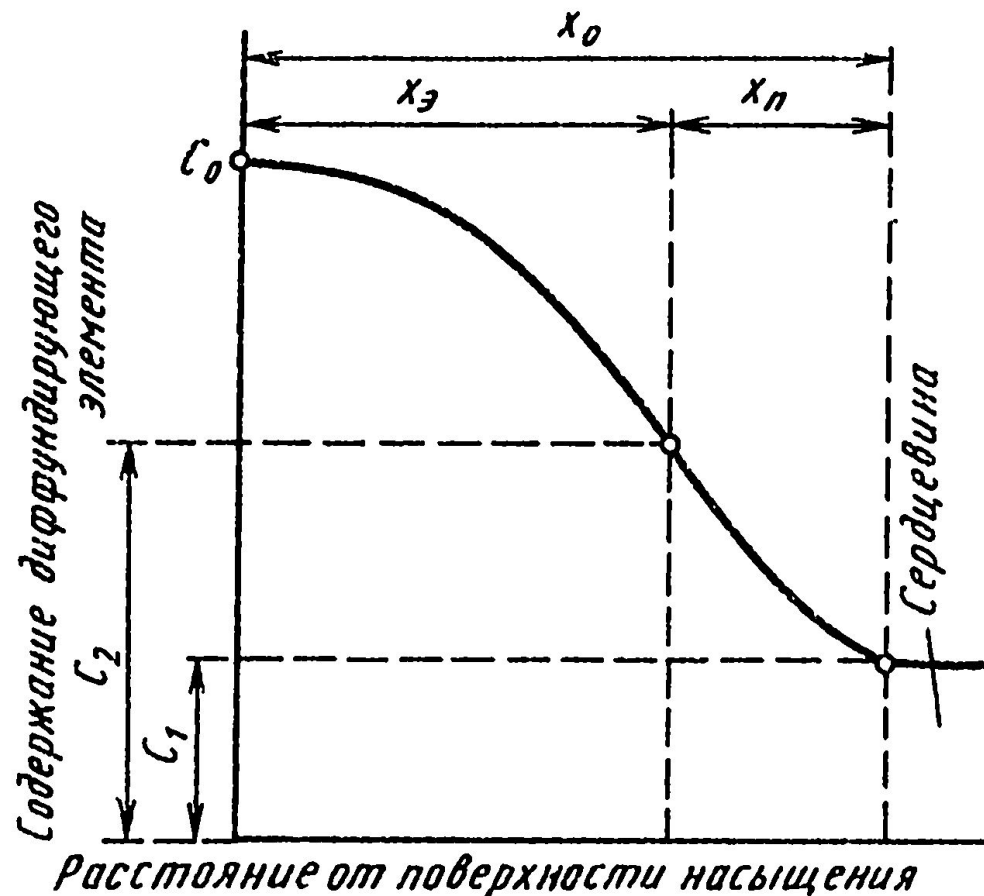
В результате повышается поверхностная твердость, износостойкость или коррозионные свойства поверхности обрабатываемого металла.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Схема диффузионного слоя

$x_0$  – общая толщина диффузионного слоя;  
 $x_э$  – эффективная толщина диффузионного слоя;  
 $x_n$  – толщина переходной зоны диффузионного слоя;  
 $C_0$  – концентрация диффундирующего элемента на поверхности;  
 $C_1$  – содержание диффундирующего элемента в исходном металле (сердцевине);  
 $C_2$  – концентрация диффундирующего элемента, установленного для  $x_э$ .  
 для  $x_э$ .

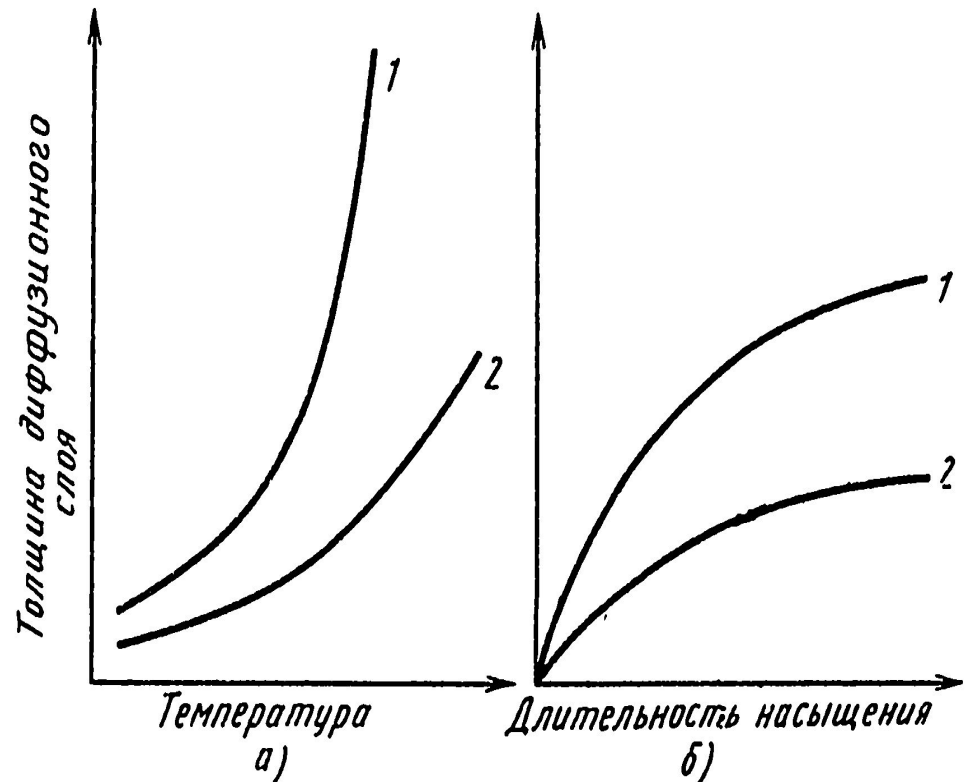




ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Влияние температуры и длительности ХТО на толщину диффузионного слоя

1 – элементы, образующие твёрдые растворы внедрения (углерод, азот);  
2 – элементы, образующие твёрдые растворы замещения (хром, алюминий, кремний).





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Параметры ХТО

- Состав среды, содержащей диффундирующий в металл элемент;
- Температура ХТО;
- Длительность ХТО обработки;
- Толщина эффективного слоя;
- Наличие заключительной ТО.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Цементация

**Цементация** - это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей углеродом.

Цементации подвергаются стали с низким содержанием углерода (**0,1 – 0,2 % С**).

Используются два вида цементации: **газовая и в твердом карбюризаторе**

### 1. Цементация в газовой фазе. ( метан или природный газ)

Стальные детали нагревают до  $910 - 930^{\circ}\text{C}$  в газовых смесях, содержащих  $\text{CH}_4$ .

Метан разлагается:  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_{\text{ат}} + 4\text{H}$

Время нагрева 6 – 12 часов

Закалка сразу из печи.

Толщина эффективного слоя 1 – 1,7 мм.



## Цементация

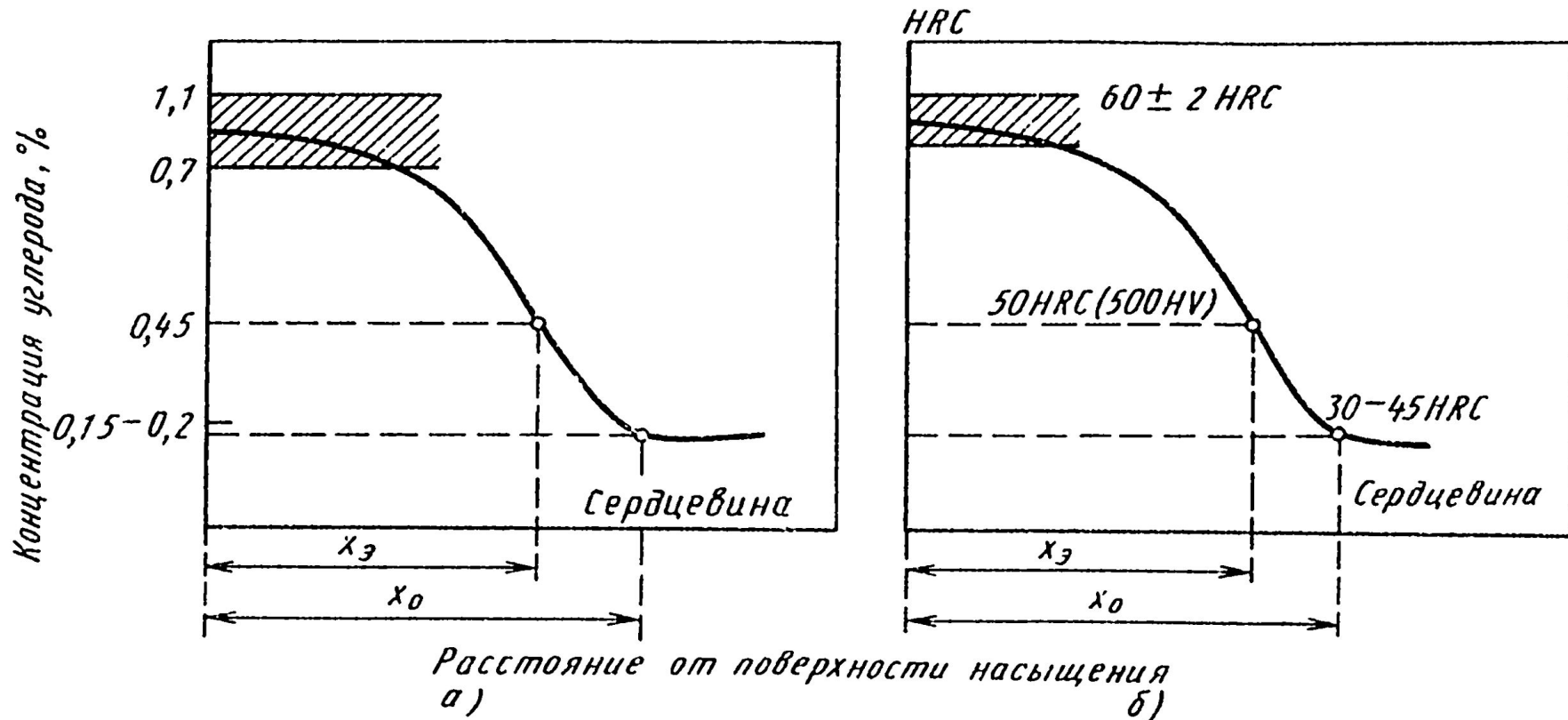


Схема распределения углерода и твёрдости после закалки и низкого отпуска по толщине цементированного слоя.

$x_э$  – эффективная толщина слоя;  $x_0$  – общая толщина слоя.



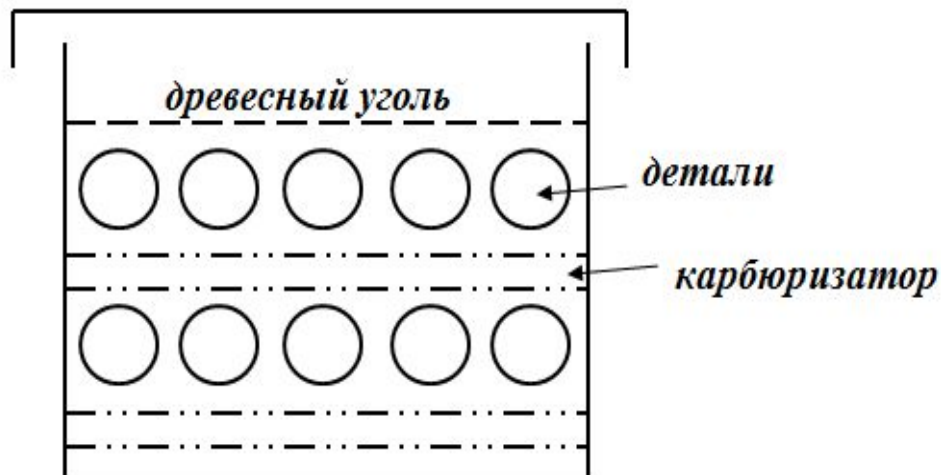
ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Цементация

### 2. Цементация в твёрдой фазе (в твёрдом карбюризаторе).

В качестве карбюризатора используют смесь из древесного угля, активатора  $\text{BaCO}_3$  и наполнителя  $\text{CaCO}_3$ .

Температура 930-950 °С. Продолжительность выдержки зависит от размера ящика и составляет 6-11 часов. После цементации ящики охлаждают в печи до 400-500 °С затем на воздухе и раскрывают.



Далее закалка с 820-830 °С.  
и низкий отпуск.

**Свойства  
цементированного слоя  
сохраняются до 250 °С**



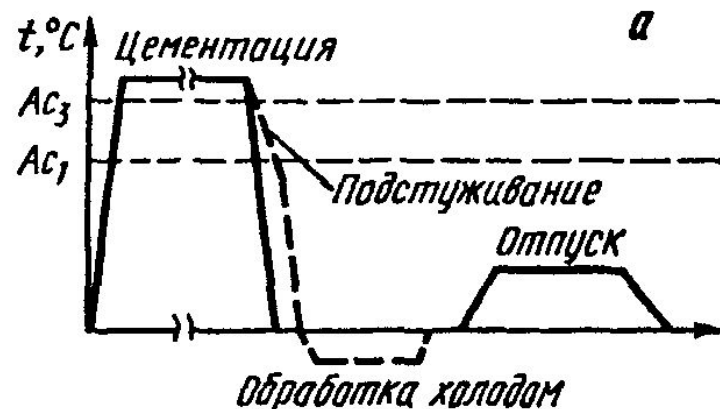
ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Последующая обработка цементированных деталей

*После цементации из-за длительной выдержки при высоких температурах сталь становится крупнозернистой. Это обстоятельство необходимо учитывать при назначении обязательной термообработки. Цель термообработки – упрочнение поверхности с одновременным измельчением зерна и получением вязкой сердцевины.*

*В зависимости от назначения детали применяют различные варианты термической обработки.*

*Менее ответственные детали подвергают закалке непосредственно с цементационного нагрева с последующим низким отпуском (рис. а).*

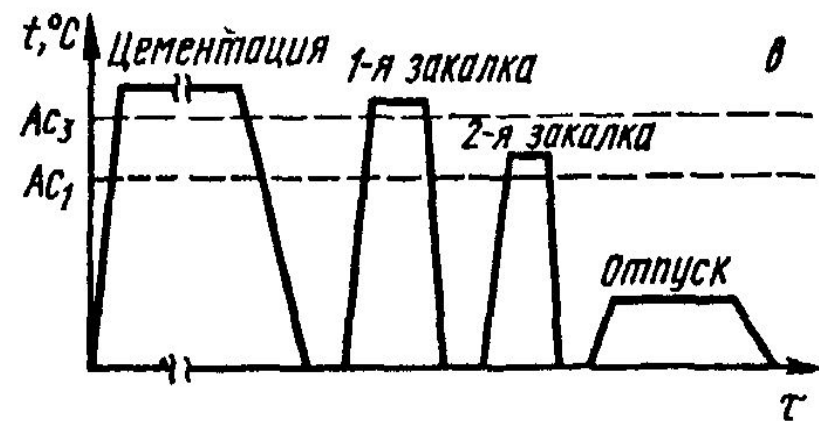
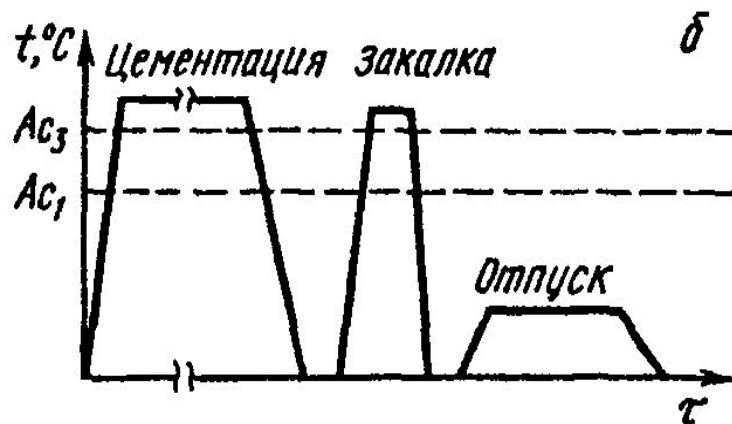




## Последующая обработка цементированных деталей

*При более высоких требованиях к структуре после цементации детали подвергают охлаждению на воздухе, однократной закалке и низкому отпуску (рис. б).*

*Особо ответственные детали после цементации подвергают двойной закалке с низким отпуском (рис. в).*





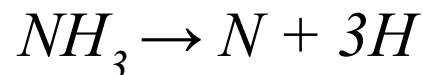
ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Азотирование

**Азотирование** - это процесс насыщения поверхностного слоя азотом. Используется для легированных сталей.

Процесс азотирования состоит в выдержке деталей в атмосфере аммиака при температуре  $500 - 520^\circ\text{C}$ . Время азотирования  $24 - 90$  ч.,  $h_{\text{эф}} = 0,3 - 0,6$  мм. Иногда двухступенчатое азотирование:  $500-520$ , далее  $540-560$  при этом время азотирования снижается, поверхностная твердость сохраняется.

Аммиак при нагреве разлагается:



Атомарный азот диффундирует вглубь металла.



## Азотирование

Поверхностная твердость и износостойкость при азотировании достигается образованием в поверхностных слоях нитридов ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ,  $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$  и твердого раствора азота в железе. При этом твердость азотированного слоя выше чем цементированного и закаленного до 1200 HV.

Свойства азотированного слоя сохраняются при повышении температуры деталей до 450-500 °С,



# Нитроцементация

- **Нитроцементация сталей** — процесс насыщения поверхности стали одновременно углеродом и азотом °С в газовой среде, состоящей из метана и аммиака. Наиболее часто нитроцементация проводится при **850—860 °С**.  
Время цементации **4-10 часов**,  $h_{эф} = 0,2 - 0,8$  мм.
- $$CH_4 \rightarrow C_{ат} + 4H$$
$$2NH_3 \rightarrow 2N_{ат} + 6H$$
- После нитроцементации следует закалка в масло с повторного нагрева или непосредственно из нитроцементационной печи или после небольшого подстуживания. Для уменьшения деформации рекомендуется применять ступенчатую закалку с выдержкой в горячем масле 180—200 °



# Нитроцементация

- Несмотря на значительно более низкую температуру насыщения, скорость роста диффузионного слоя при цементации (930—950 °С) и нитроцементации (840—860 °С) на толщину 0,5—0,8 мм практически одинакова.
- Понижение температуры насыщения, без увеличения длительности процесса, позволяет снизить деформацию обрабатываемых деталей, повысить стойкость печного оборудования и уменьшить время на подстуживание перед закалкой.





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Нитроцементация

- Нитроцементация применяется, например, для зубчатых колес выполняемых из сталей 25ХГТ, 25ХГМ и 25ХГМТ, по условиям работы которых достаточна толщина упрочненного слоя 0,2—1,0 мм. Твердость после цементации и последующей термической обработки составляет 58-64 НРС



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Цианирование

**Цианирование** - это процесс насыщения поверхностного слоя углеродом и азотом в солевых ваннах.

*Существует два вида цианирования:*

**Среднетемпературное.**

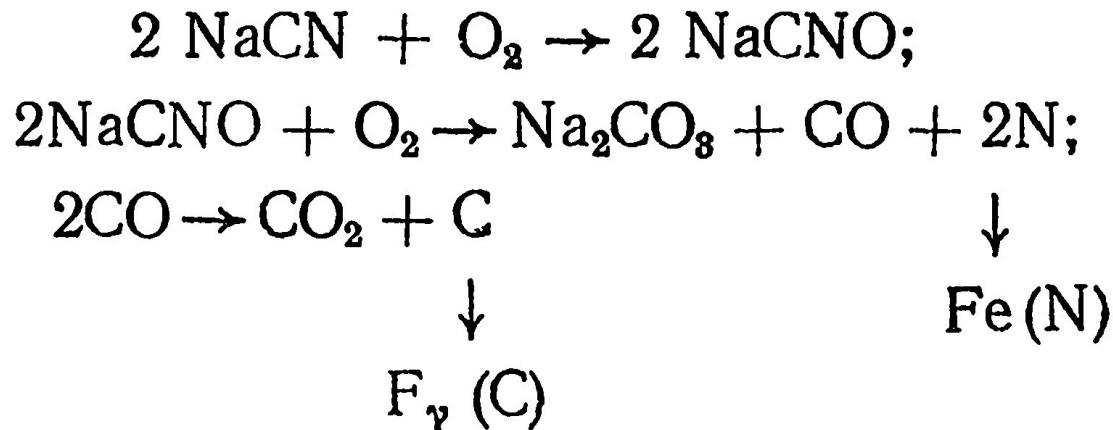
**Высокотемпературное.**



## Цианирование

При *среднетемпературном* цианировании процесс при температурах **820-860 °С** ведут в ваннах, содержащих расплав следующего состава: **25% NaCN, 25-50% NaCl и 25-50% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**. Продолжительность процесса обусловлена требуемой толщиной слоя и составляет **0,5-1,5 ч**. Толщина слоя **0,15-0,35 мм**.

В процессе цианирования идут следующие реакции:



Выделяющийся атомарный углерод и азот диффундируют в сталь.

Цианирование при указанных сравнительно невысоких температурах позволяет выполнять закалку непосредственно из цианистой ванны. Такой вид цианирования применяют для упрочнения мелких деталей.



## Цианирование

Слайд 14.14

*Высокотемпературное цианирование применяют для получения слоя толщиной 0,5-2,0 мм. Температура процесса 930-950 °С.*

*Состав расплава в ванне: 8% NaCN, 82% BaCl<sub>2</sub> и 10% NaCl. Зеркало ванны покрывают слоем графита во избежание больших потерь теплоты и угара цианистых солей. Время выдержки 1,5-6 ч.*

*Выделяющийся атомарный углерод и азот диффундируют в железо.*

*После высокотемпературного цианирования детали охлаждают на воздухе, а затем для измельчения зерна закаливают с нагревом в соляной ванне или печи и подвергают низкому отпуску.*

*Недостатком процесса цианирования является высокая стоимость, ядовитость цианистых солей и необходимость в связи с этим принятия специальных мер по охране труда.*



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Классификация сталей по областям применения

### **1. Строительные стали: 0,1-0,2 % С.**

Стали хорошо свариваются, прочность сварного шва равна прочности стали

Примеры: Ст.2, Ст.3; сталь 10, сталь 20; **С 255, С 345**, 14Г2, 17ГС, 14ХГС, 15ХСНД, 14Г2АФ;

### **2. Цементируемые стали: 0.1-0,2 % С**

Детали с поверхностным износом и действием динамических нагрузок (вязкая сердцевина);

Примеры: 10, 15, 20, 15Х, 20Х, 15ХФ, 20ХН, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 18Х3Н4МА, 18Х2Н4ВА



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Классификация сталей по областям применения

### **3. Улучшаемые стали (0,3 – 0,5 %)**

Стали, содержащие не более 5% легирующих элементов, используемые после операции улучшения (закалка и высокий отпуск). Закалка обычно в масло. Структура сорбита, хорошо воспринимающего ударные нагрузки.

Примеры 35, 40, 45, 30Х, 40Х, 30ХМ, 40ХГ, 30ХГС, 40ХНМ, 38ХНЗМФА, 38ХНЗМ.

### **4. Высокопрочные стали ( средне- и высокоуглеродистые) $\sigma_{\text{в}} > 1500 \text{ МПа}$**

Закалка и низкий отпуск: инструментальные стали, У9, У13А 30ХГСНА, 40ХГСНЗВА, 30Х2ГСНЗВМ



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Классификация сталей по областям применения

### **5. Рессорно-пружинные стали (0,5-0,7 % С)**

Высокое сопротивление упругой деформации, высокий модуль упругости, высокий предел выносливости, закалка и средний отпуск, структура троостита.

Примеры: 65, 70, 65Г, 60С2, 70С3А

### **6. Подшипниковые стали (0,8-0,9 % С)**

Стали с высокой износостойкостью и выносливостью при контактном циклическом нагружении.

Примеры: ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ.