

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.

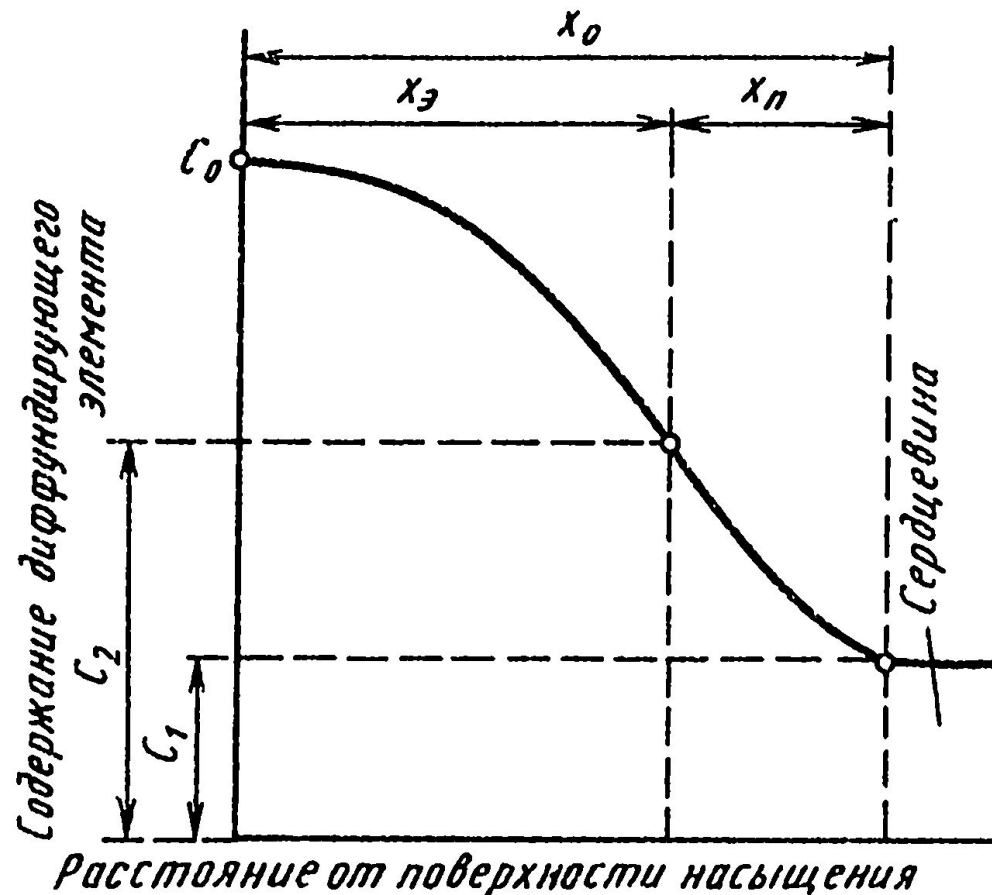
В результате повышается поверхностная твердость, износостойкость или коррозионные свойства поверхности обрабатываемого металла.



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 $x_э$.

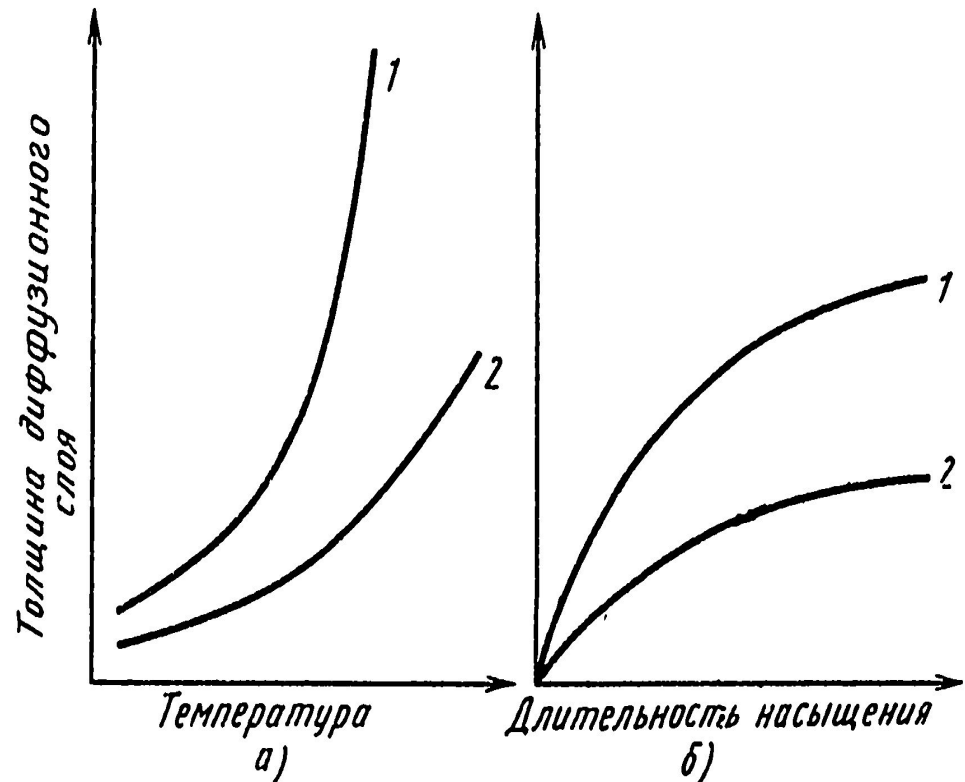




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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 % C**).

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 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

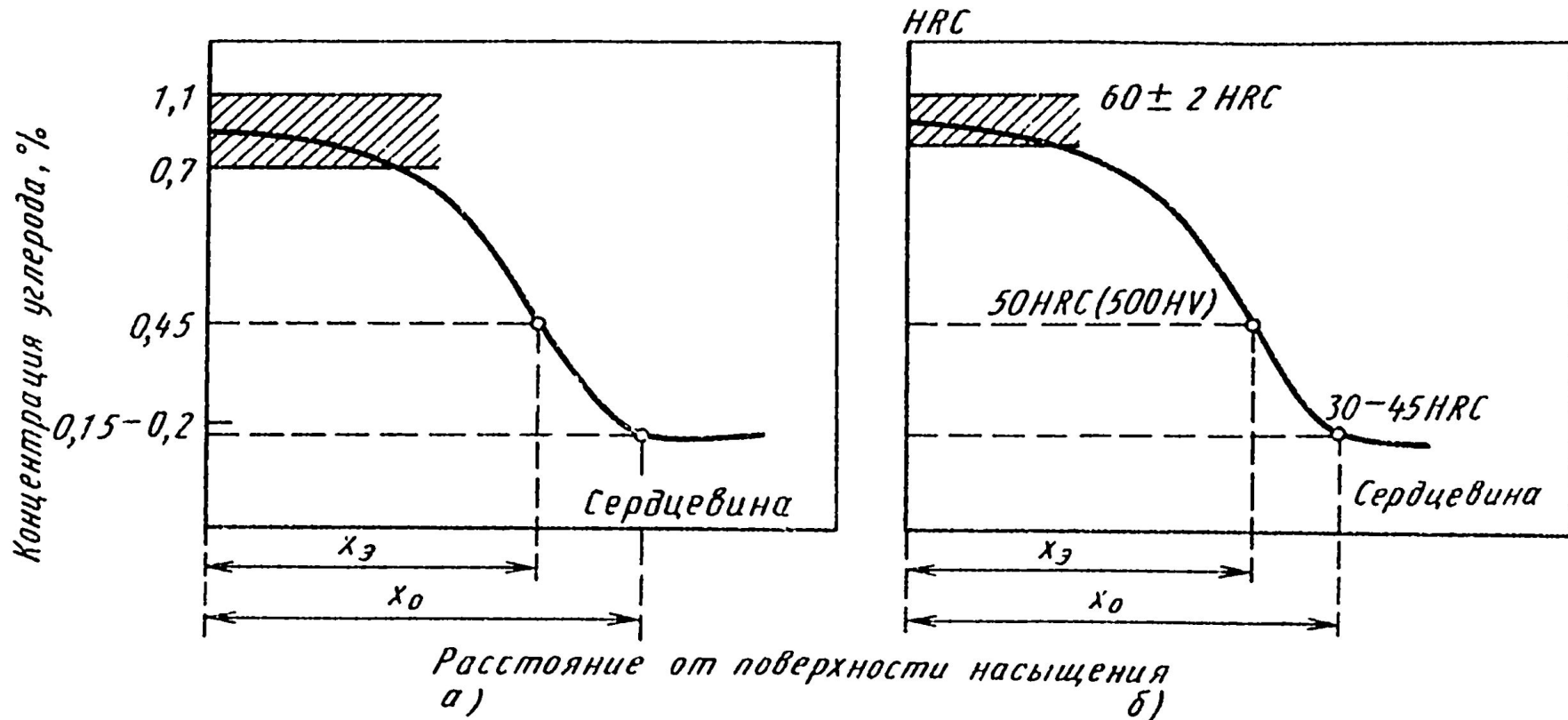


Схема распределения углерода и твёрдости после закалки и низкого отпуска по толщине цементированного слоя.

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



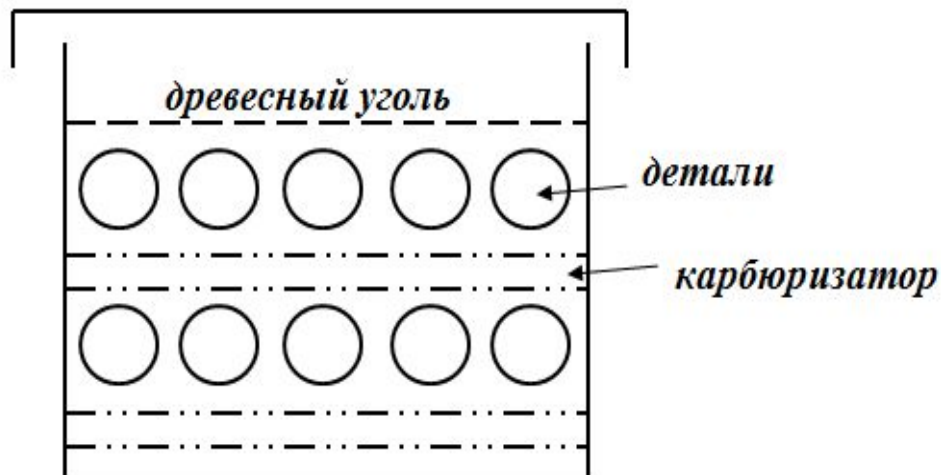
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Цементация

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

В качестве карбюризатора используют смесь из древесного угля, активатора BaCO_3 и наполнителя 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**



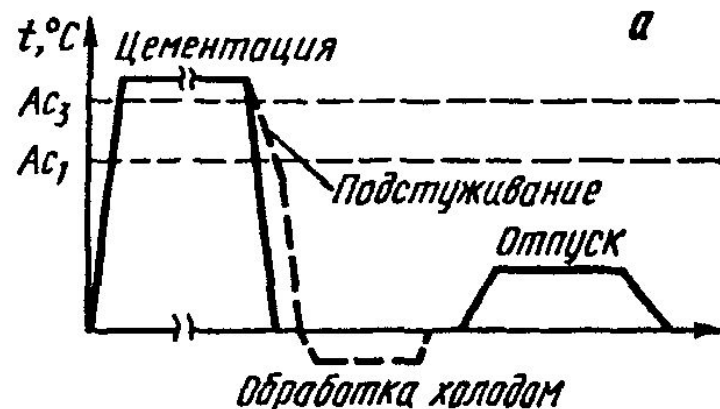
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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).

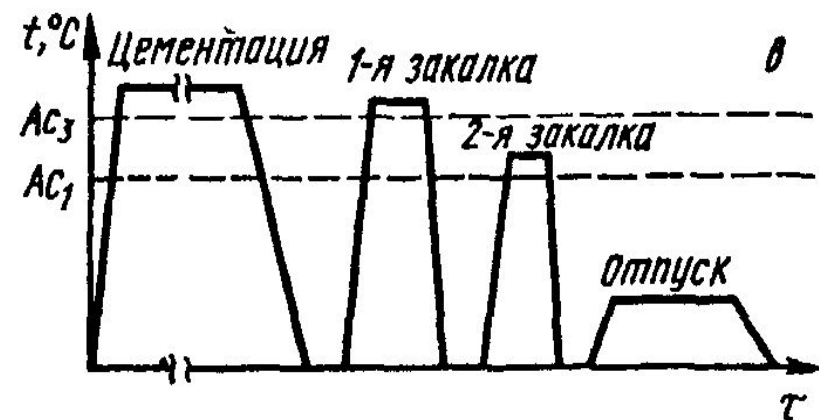
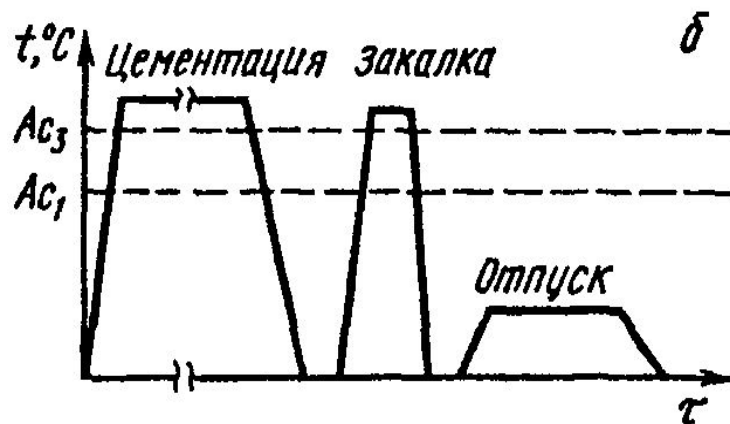




Последующая обработка цементированных деталей

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).





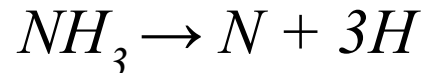
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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 (Fe_4N , Fe_{2-3}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.

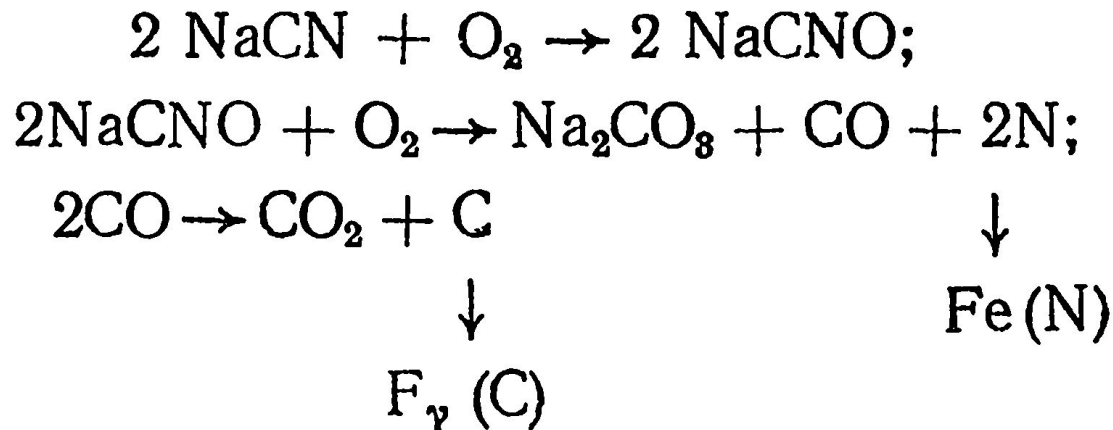
Высокотемпературное.



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% Na₂CO₃**. 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% BaCl₂ 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) $\sigma_{в} > 1500$ 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.