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

<u>Химико-термическая обработка</u> (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;

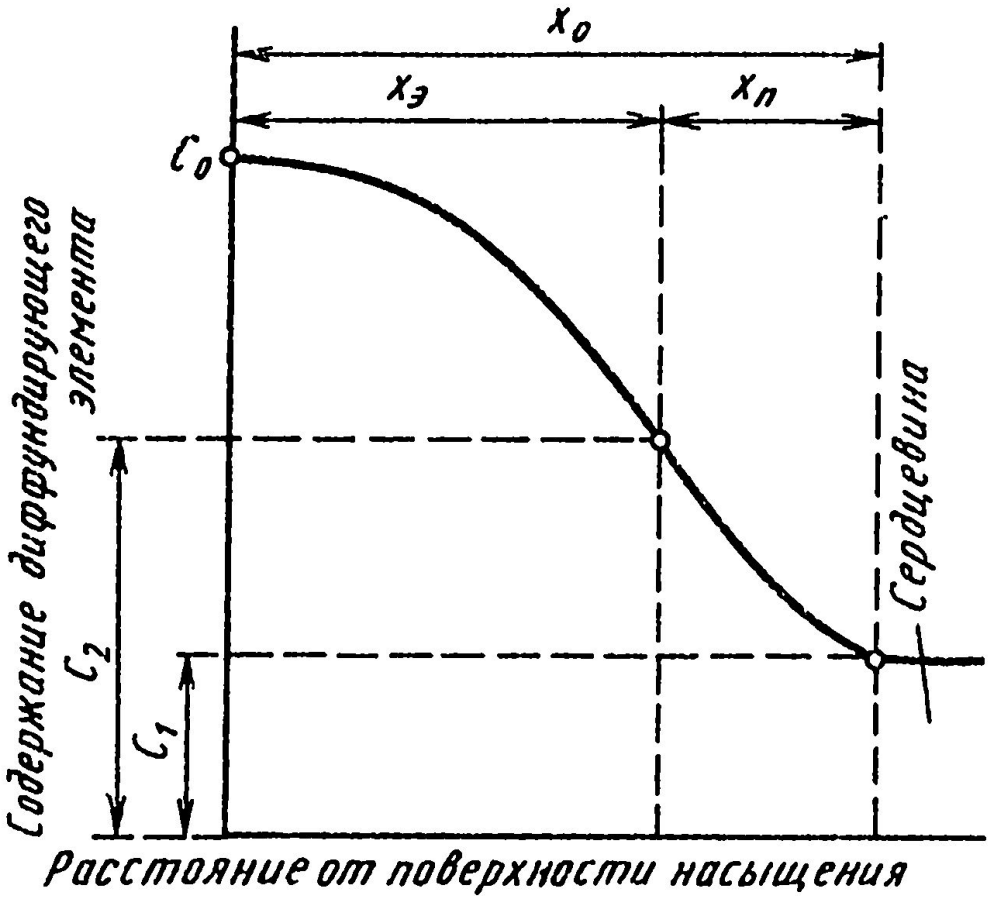
$x_э$ - эффективная толщина диффузионного слоя;

$x_п$ - толщина переходной зоны диффузионного слоя;

C_0 – концентрация диффундирующего элемента на поверхности;

C_1 – содержание диффундирующего элемента в исходном металле (сердцевине);

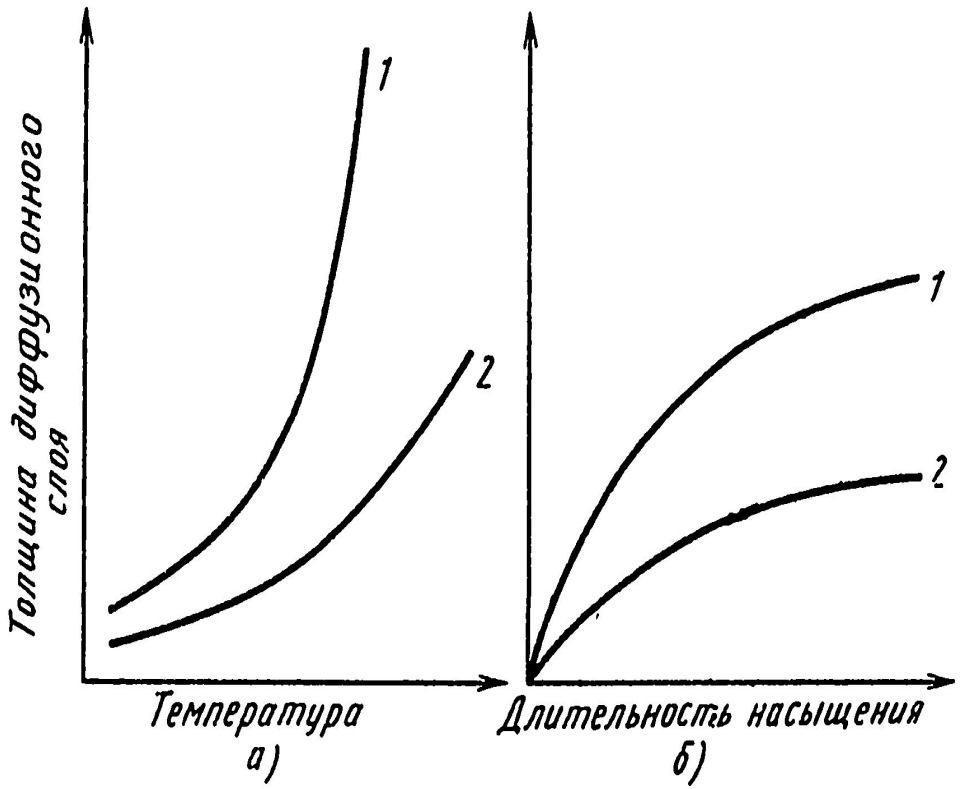
C_2 – концентрация диффундирующего элемента, установленного для $x_э$.



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 ˚С в газовых смесях, содержащих CH_4.

Метан разлагается: $CH_4 \rightarrow C_{ат} + 4H$

Время нагрева 6 – 12 часов

Закалка сразу из печи.

Толщина эффективного слоя 1 – 1,7 мм.

Цементация

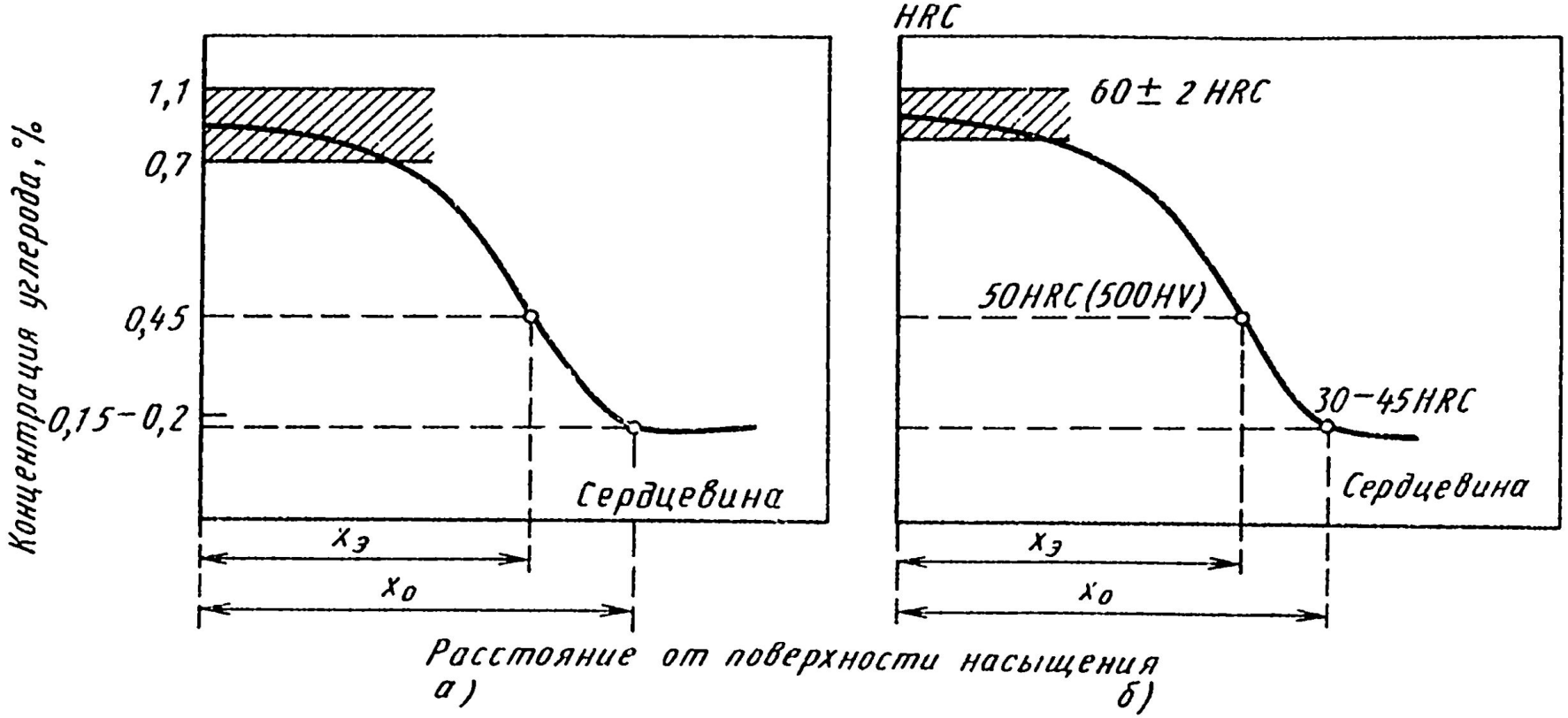


Схема распределения углерода и твёрдости после закалки и низкого отпуска по толщине цементированного слоя.
$x_э$ – эффективная толщина слоя; x_o – общая толщина слоя.

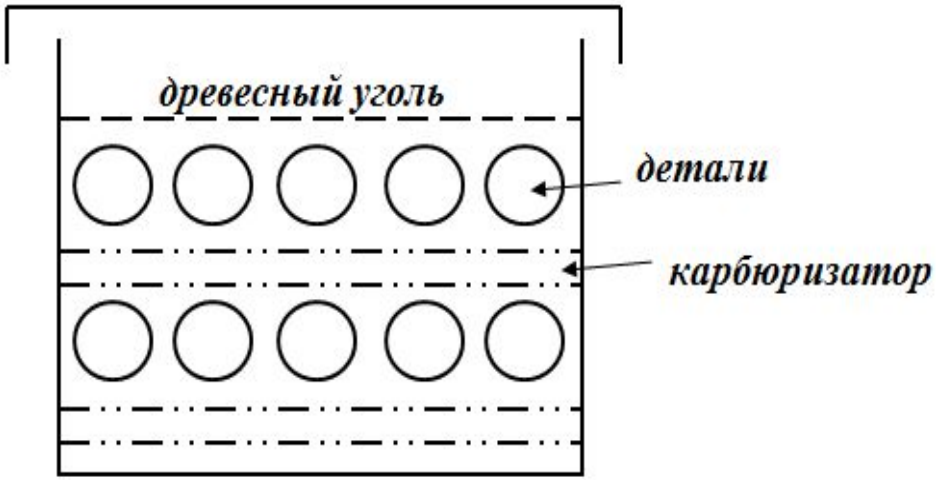
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

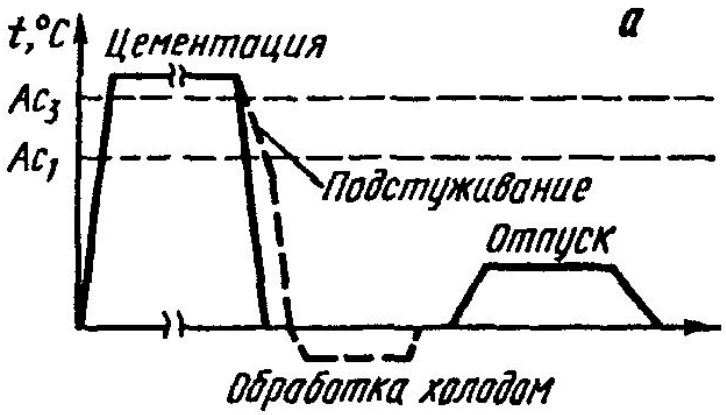
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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).

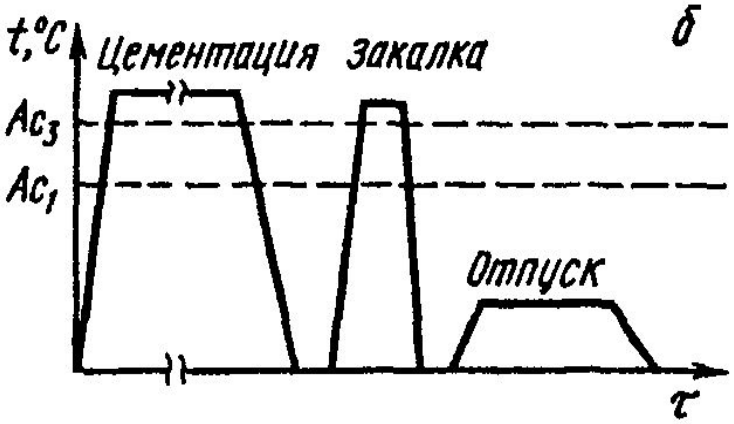


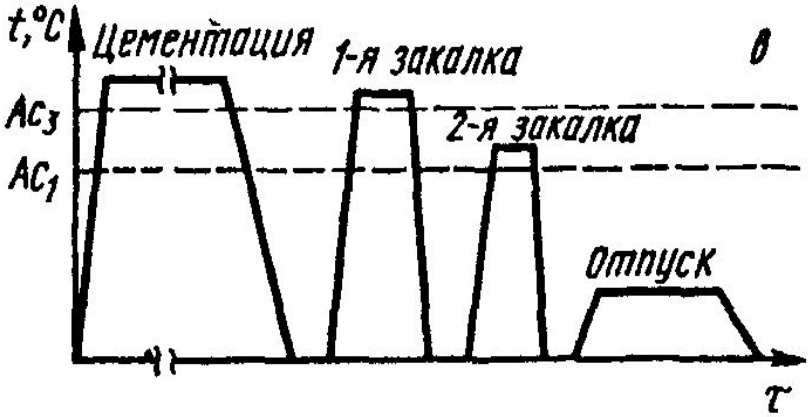
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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*** *˚С. Время азотирования* ***24 – 90 ч****.,* $h_{эф}$ = ***0,3 – 0,6 мм****. Иногда двухступенчатое азотирование: 500-520, долее 540-560 при этом время азотирования снижается, поверхностная твердость сохраняется.*

Аммиак при нагреве разлагается:

$$NH_3 \rightarrow N + 3H$$

Атомарный азот диффундирует вглубь металла.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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,

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Нитроцементация

- **Нитроцементация сталей** — процесс насыщения повехности 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 °

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 HRC

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Цианирование

<u>Цианирование</u> *- 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_2CO_3**. 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:

$$2\,NaCN + O_2 \rightarrow 2\,NaCNO;$$

$$2NaCNO + O_2 \rightarrow Na_2CO_3 + CO + 2N;$$

$$2CO \rightarrow CO_2 + C \qquad\qquad \downarrow$$

$$\downarrow \qquad\qquad Fe(N)$$

$$F_\gamma\,(C)$$

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

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

Состав расплава в ванне: 8% NaCN, *82%* $BaCl_2$ *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 этом 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, 38ХН3МФА, 38ХН3М.

4. **Высокопрочные стали (средне- и высоко углеродистые) Gв > 1500 МПа**

Закалка и низкий отпуск: инструментальные стали, У9, У13А 30ХГСНА, 40ХГСН3ВА, 30Х2ГСН3ВМ

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.