

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева»**

Кафедра технологии металлов

## **ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине  
«Материаловедение» для студентов направлений  
15.03.05. (151900.62) «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств», 15.03.01.  
(150700.62) «Машиностроение», 23.03.03. (190600.62)  
«Эксплуатация транспортно-технологических машин  
и комплексов», 18.03.02. (241000.62)  
«Энерго-и ресурсосберегающие процессы химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»; по дисциплине «Основы  
материаловедения» направления 27.03.02. (221400.62)  
«Управление качеством» всех форм обучения

**Составители Л. П. Короткова  
С. В. Лащенина**

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 6 от 19.11.2014

Рекомендованы к печати  
учебно-методической комиссией  
направления 15.03.05. (151900.62)

Протокол № 4 от 19.11.2014

Электронная копия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2014

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель – изучение принципов легирования, микроструктуры, типовых режимов термической обработки, свойств, применение легированных конструкционных сталей общего и специального назначения.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

Конструкционные стали – это стали, из которых изготавливают всевозможные детали машин, инженерные конструкции, приборы. Их можно подразделить на стали общего и специального назначения.

Из сталей общего назначения изготавливают большинство деталей машин и конструкций.

*Конструкционные стали общего назначения:*

- строительные;
- цементуемые;
- улучшаемые.

Стали специального назначения – это такие стали, которые обладают специфическими основными или технологическими свойствами. В связи с этим они имеют специализированную область применения. Свойства таких сталей обеспечиваются определенным химическим составом и термической обработкой.

Среди применяемых в настоящее время можно выделить следующие группы специальных сталей:

*Конструкционные стали специального назначения:*

- с высокими упругими свойствами (рессорно-пружинные);
- износостойкие стали (подшипниковые, стали Гатфильда);
- с повышенной обрабатываемостью резанием (автоматные);
- с улучшенными литейными свойствами;
- коррозионно-стойкие;
- жаропрочные;
- с особыми физическими свойствами (электротехнические, магнитные, с заданным температурным коэффициентом линейного расширения и др.).

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПО СТРУКТУРЕ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

В современных легированных сталях в качестве легирующих элементов используют в основном: хром, никель, марганец, кремний, молибден, вольфрам, ванадий, титан, реже – кобальт, алюминий, медь, цирконий, бор, азот. Эти легирующие элементы растворяются в твердом растворе, карбидах, при определенных концентрациях образуют специальные фазы. Они влияют на фазовые превращения, в результате меняется положение линий на диаграмме состояний, меняется структура сталей в равновесном состоянии (рис. 1).

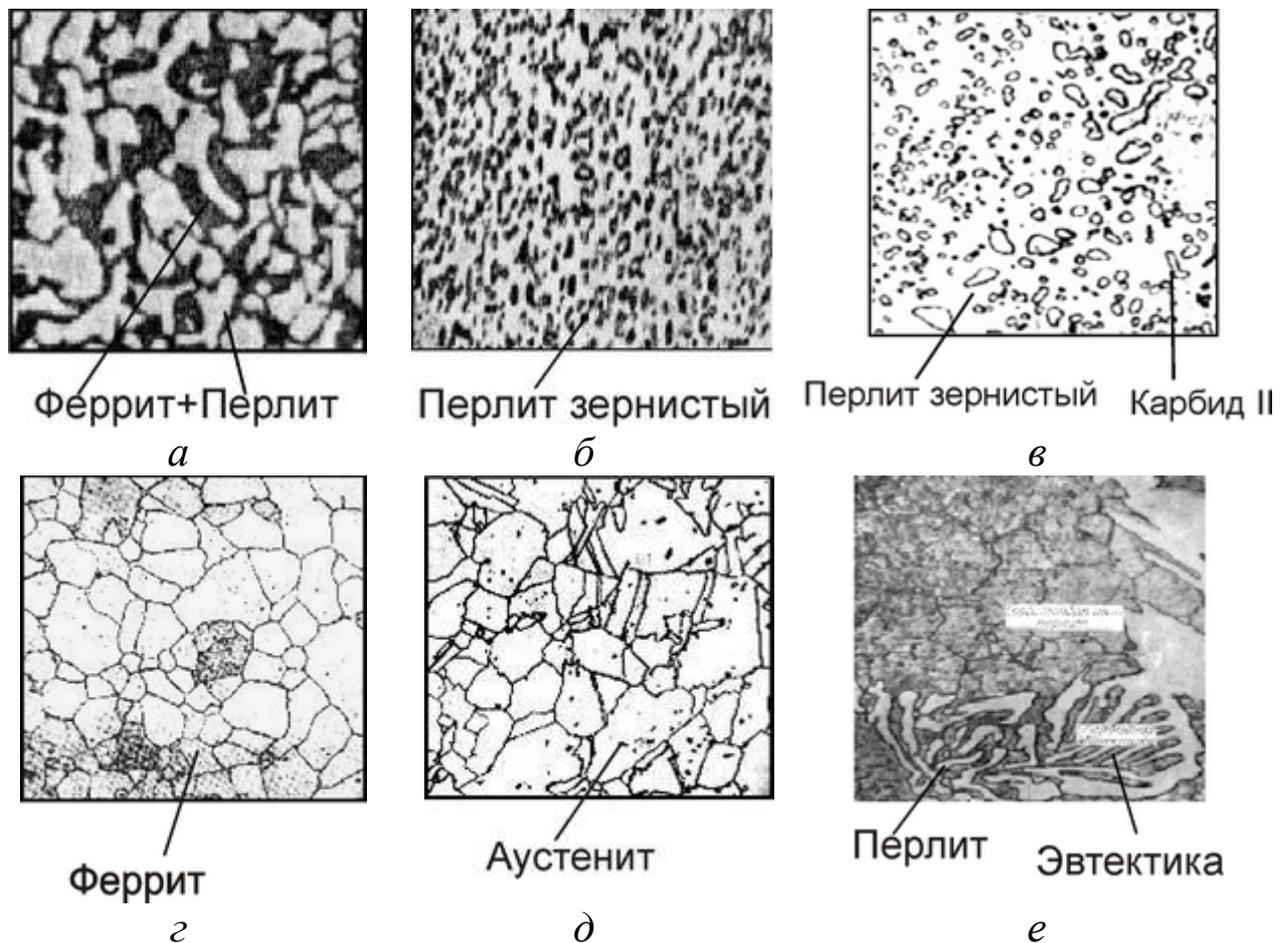


Рис. 1. Структура сталей в равновесном состоянии:  
*a, б, в* – перлитный класс; *г* – ферритный класс;  
*д* – аустенитный класс; *е* – карбидный класс (ледебуритный)

*Легированные стали по структуре в равновесном состоянии* подразделяют на классы:

– *Перлитный класс*. Суммарное количество легирующих элементов в них не превышает 5 %.

В зависимости от содержания углерода они имеют структуру до-, за- или эвтектоидной стали (рис. 1, а, б, в).

– *Ферритный класс*. Низкоуглеродистые ( $C \leq 0,2$  %), высокохромистые либо кремнесодержащие (2–4 % кремния) стали.

Имеют структуру феррита при всех температурах до температур плавления (рис. 1, г).

– *Аустенитный класс*. Низкоуглеродистые ( $C \leq 0,2$  %), содержание Ni и Mn в сумме  $\geq 10$  %.

Имеют структуру аустенита при всех температурах до температур плавления (рис. 1, д).

– *Ледебуритный или карбидный класс*. Высокоуглеродистые ( $C \geq 0,8$  %), содержащие карбидообразующие элементы в сумме  $\geq 10$  %. В структуре таких сталей имеется грубая карбидная эвтектика (рис. 1, е). Фактически это белые легированные чугуны.

### 3.1. *Влияние легирующих элементов на структуру сталей в равновесном состоянии*

Легирующие элементы при введении в сталь в количестве менее 5 % растворяются в кристаллических решетках железа и цементита, образуя легированный феррит, цементит. Такие стали называют сталями *перлитного класса*, так как они сохраняют структуру углеродистых сталей в соответствии с диаграммой Fe – Fe<sub>3</sub>C.

При большем количестве легирующих элементов превышает предельная растворимость твердых растворов, что приводит к образованию специальных избыточных фаз в виде карбидов либо интерметаллидов.

Растворяясь в железе, легирующие элементы меняют температуры: полиморфных превращений A<sub>4</sub> (Fe<sub>α</sub> → Fe<sub>γ</sub>), A<sub>3</sub> (Fe<sub>γ</sub> → Fe<sub>α</sub>), температуры эвтектоидной A<sub>1</sub> и эвтектической реакций, температуру магнитного превращения A<sub>2</sub>. Дополнительно, под влиянием легирующих элементов меняется растворимость углерода в железе, что приводит к смещению линий растворимости твердых растворов (как правило, влево) и в целом к изменению диаграмм состояния по сравнению с диаграммой Fe – Fe<sub>3</sub>C (рис. 2, а).

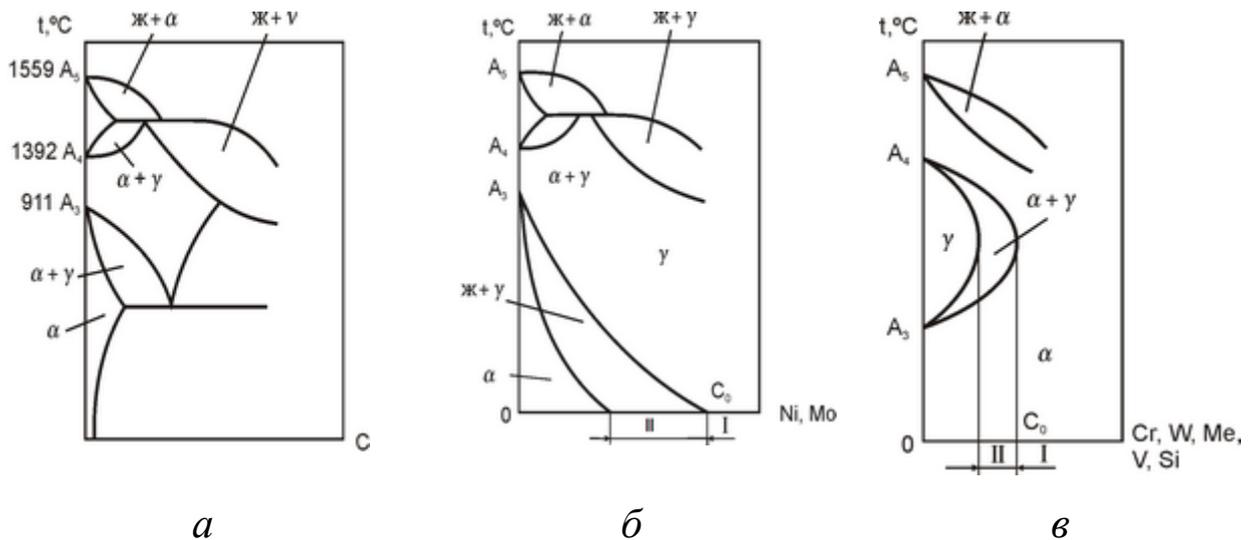


Рис. 2. Диаграммы состояния железа – легирующий элемент

Все легирующие элементы по влиянию на температуры полиморфного превращения делятся на две группы.

1. Никель, марганец, углерод, азот расширяют область существования аустенита ( $\gamma$ -область) за счет повышения линий  $A_4$  и понижения  $A_3$ . В соответствии с диаграммой состояния (рис. 2, б), стали с концентрацией легирующих элементов более  $C_0$  называются сталями *аустенитного класса* (I), так как в них полностью отсутствует полиморфное превращение  $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ , если частично – *полуаустенитного класса* (II).

2. Хром, молибден, вольфрам, ванадий, кремний, титан и др. расширяют область существования феррита за счет понижения линий  $A_4$  и повышения  $A_3$ . В результате область  $\gamma - Fe$  закрывается, а область  $\alpha - Fe$  – открывается. В соответствии с диаграммой состояния (рис. 2, в), стали с концентрацией легирующих элементов более  $C_0$ , в которых полностью отсутствует  $Fe_\alpha \rightarrow Fe_\gamma$ , называют сталями *ферритного класса* (I); если превращение происходит частично, то – сталями *полуферритного класса* (II).

Под влиянием легирующих элементов изменяются предельная растворимость углерода в твердых растворах, эвтектическая и эвтектоидная концентрации, как правило, в сторону уменьшения. Поэтому в структуре сталей, особенно с содержанием карбидообразующих элементов более 10 % при концентрации углерода 1 % и более, появляется карбидная эвтектика, и эти стали называют сталями *карбидного* или *ледебуритного класса*.

В зависимости от легирующих элементов в сталях могут встречаться следующие виды карбидов:  $Mn_3C$ ,  $Fe_3C$  ( $Me_3C$ );  $Cr_7C_3$  ( $Me_7C_3$ );  $Cr_{23}C_6$  ( $Me_{23}C_6$ );  $Mo_6C$ ,  $W_6C$  ( $Me_6C$ );  $VC$ ,  $TiC$ ,  $ZrC$  ( $MeC$ ).

Так как в решетках карбидов могут растворяться другие легирующие элементы, то карбиды часто обозначают в общем виде, где пишется значок  $Me$  – это металл.

По склонности карбидообразования легирующие элементы расположены в следующем порядке (возрастает от  $Fe$  к  $Ti$ ):

$Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Zr, Ti.$

Углерод в первую очередь связывается в карбиды с самым сильным карбидообразующим элементом титаном, и если углерод остается, то с менее сильным карбидообразующим элементом и в последнюю очередь с железом, как самым слабым карбидообразующим элементом.

## 4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

### 4.1. Особенность легирования

Основными легирующими элементами конструкционных сталей общего назначения являются недорогие и недефицитные  $Cr$  (до 2 %),  $Mn$  (до 1,5 %),  $Si$  (до 2 %). Кроме того, в некоторых случаях вводят дефицитные и дорогие  $Ni$  (от 1 до 5 %),  $W$  (от 0,8 до 1,2 %),  $Mo$  (от 0,2 до 0,4 %),  $V$  (до 0,3 %),  $Ti$  (до 0,1 %). Суммарное количество легирующих элементов в этих сталях не превышает 5 %. Легирующие элементы растворяются в феррите и цементите, не образуя специальных фаз. Поэтому по структурному признаку это стали перлитного класса.

Основная цель легирования – повышение конструкционной прочности, повышение прокаливаемости, получение мелкого зерна.  $Si$ ,  $Mn$ ,  $Cr$  растворяются в феррите и упрочняют его. Количество этих элементов ограничено, так как, при введении этих легирующих элементов более 1 % каждого, а  $Mn$  – более 2 %, резко снижается пластичность сталей, что недопустимо для конструкционных сталей. Исключение составляет  $Ni$ , который повышает прочность, не снижает пластичность сталей (рис. 3). Максимальное количество  $Ni$  в конструкционных сталях составляет 5 %. Дополнительная поло-

жительная роль Ni заключается в снижении порога хладноломкости (1 % понижает  $T_{п.хл}$  на 20–30 °С).

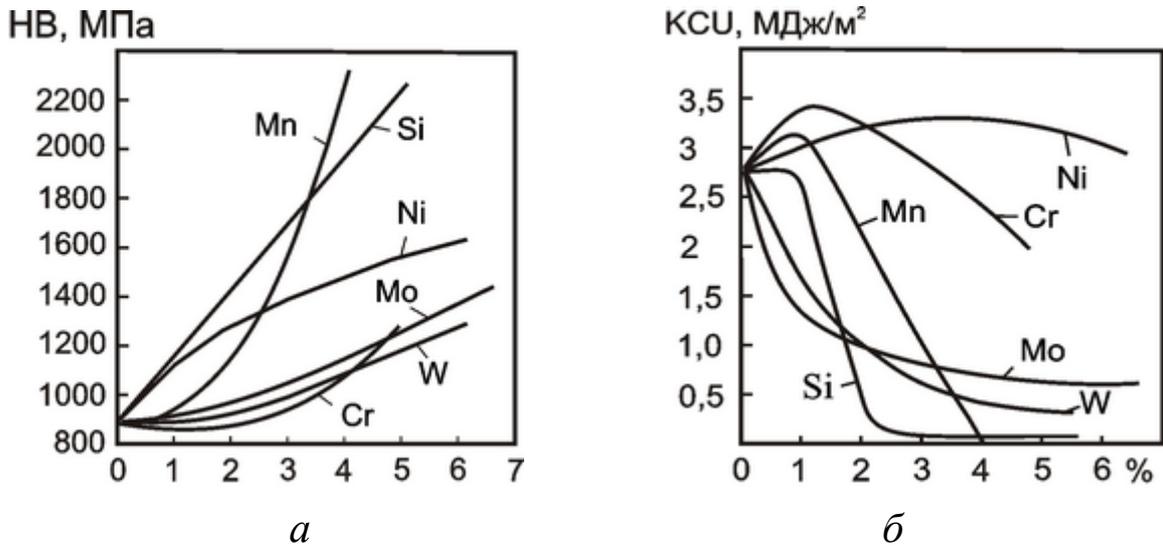


Рис. 3. Влияние легирующих элементов на свойства феррита:  
 а – твердость; б – ударная вязкость

Максимальное количество Ni в конструкционных сталях составляет 5 %. Дополнительная положительная роль Ni заключается в снижении порога хладноломкости (1 % Ni понижает  $T_{п.хл}$  на 20–30 °С).

Все перечисленные легирующие элементы повышают прокаливаемость сталей, так как замедляют диффузионные процессы, снижая скорость распада мартенсита при нагреве. Чем больше сумма легирующих элементов, тем выше прокаливаемость (от 15–20 мм в хромистых и более 100 мм в хромоникелевых).

Карбидообразующие элементы W, Mo, V, Ti вводят в основном для измельчения зерна и уменьшения склонности низколегированных, особенно хромистых сталей, к отпускной хрупкости второго рода за счет увеличения объемной доли карбидной фазы. Но при этом снижается прокаливаемость сталей.

#### 4.2. Маркировка легированных сталей

Легированные стали маркируют буквами и цифрами. В соответствии с ГОСТ 4543–71 принято обозначать:

Cr – X,	Ni – H,	Mn – Г,	Si – С,	Mo – М,	W – В,
Ti – Т,	V – Ф,	Al – Ю,	Cu – Д,	Nb – Б,	Co – К,
B – Р,	N – А,	Zr – Ц,	P – П.		

Цифры перед маркировкой указывают в конструкционных сталях на содержание углерода в сотых долях процента, а в инструменталь-

ных – на содержание углерода в десятых долях. Цифры после букв указывают на примерное содержание легирующих элементов в процентах, если цифра отсутствует – то около 1 %, а карбидообразующих элементов в конструкционных сталях – доли процента. Если перед маркировкой стоят буквы, то они означают: Ш – подшипниковая, А – автоматная. Буквы А или Ш в конце маркировки означают соответственно, что сталь высококачественная или особовысококачественная.

### 4.3. Типовые режимы термической обработки

#### 4.3.1. Строительные стали

Содержат до 0,22 % углерода (из соображений хорошей свариваемости). Это в основном недорогие марганцовистые, хромистые стали следующих марок: 09Г2, 14Г2, 15ГФ, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С, 10Г2С1, а так же сложнолегированные 14Г2АФ, 15Г2СФ, 16Г2АФ, 10ХСНД, 15ХСНД, 25ХСНД, 25Г2С, 35ГС (ГОСТ 19281–89). Применяются для сварных строительных конструкций работающих в атмосферной среде.

Поставляют чаще всего марганцовистые стали в виде нормализованного проката (рис. 4, а), а комплексно легированные – только в виде улучшенного проката (рис. 4, з). Структура после нормализации состоит из мелкозернистых феррита и перлита (160–220 НВ) (рис. 5, е), после улучшения – из сорбита (200–250 НВ) (рис. 5, з).

#### 4.3.2. Цементуемые стали

Содержат менее 0,25 % углерода. К ним относятся марки: 15Х, 20Х, 15Г, 18ХГР, 15ХФ, 25ХГТ, 20ХН, 12ХН2А, 12ХН3ФА, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А (ГОСТ 4543–71).

Классическая термическая обработка, направленная на обеспечение высокой твердости, а значит износостойкости на поверхности и вязкой сердцевины, заключается в цементации с последующей двойной закалкой – полной и неполной и низким отпуском (рис. 4, в). Цель полной закалки – это исправление дефектов структуры (крупного зерна и цементитной сетки) за счет полной фазовой перекристаллизации и получения в сердцевине сорбитной структуры (25–35 HRC). Неполная закалка направлена на обеспечение высокой твердости на поверхности со структурой мартенсита и вторичных карбидов (58–62 HRC). Заключительной операцией является низкий отпуск, цель которого снять напряжение и ликвидировать остаточный аустенит.

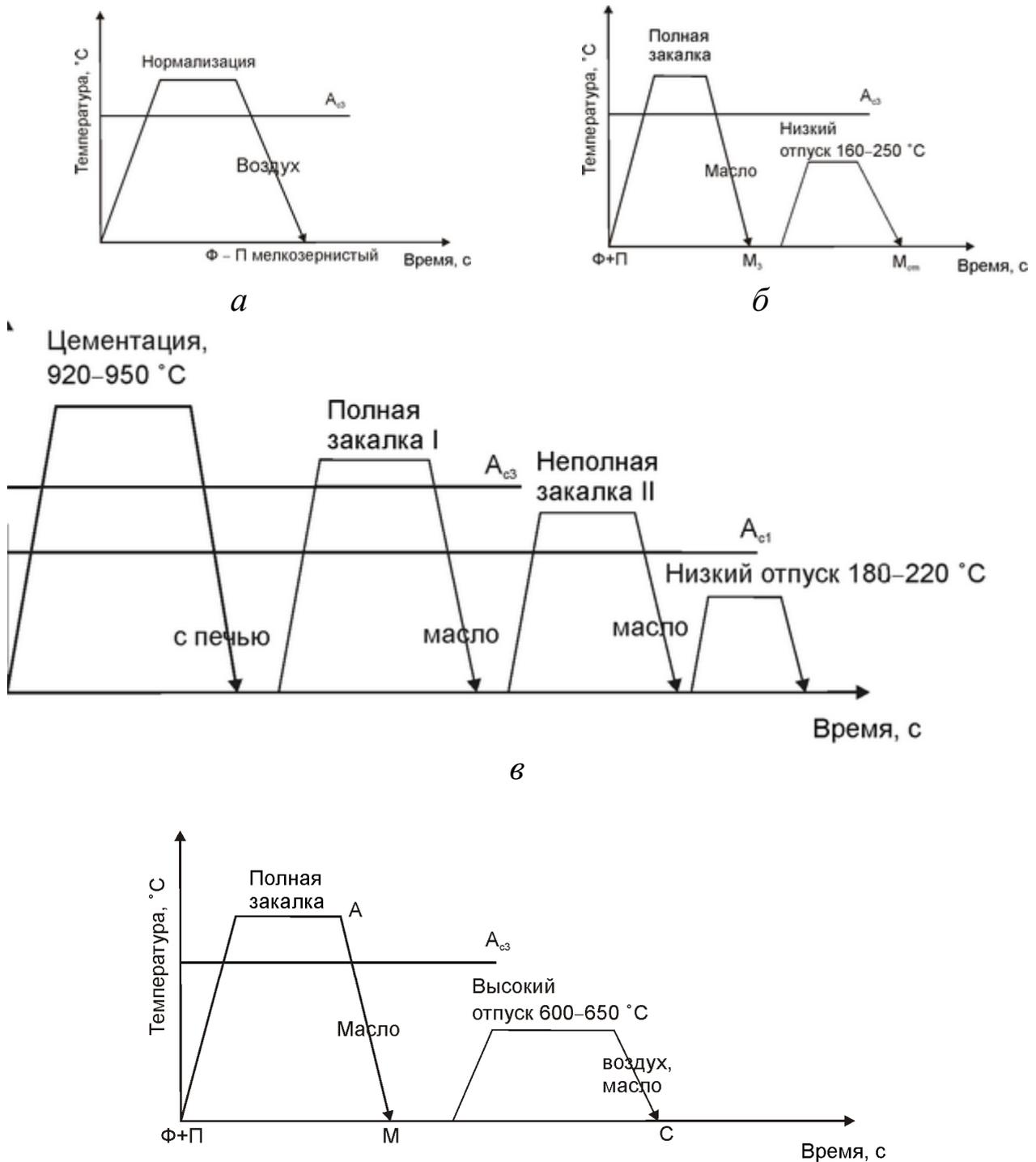


Рис. 4. Типовые режимы термической обработки сталей общего назначения: *а, б* – строительных; *в* – цементуемых; *г* – улучшаемых (Ф – феррит, П – перлит, К – карбид, М – мартенсит, С – сорбит)

Термическая обработка после цементации может быть упрощена за счет отмены полной закалки. Это допускается для легированных наследственно мелкозернистых сталей с карбидообразующими элементами, не склонных к росту зерна при нагреве, для малонагруженных деталей машин.

Если высокая износостойкость не требуется, то для этих сталей в качестве упрочняющей обработки используется полная закалка с низким отпуском (рис. 4, б) на вязкий низкоуглеродистый мартенсит.

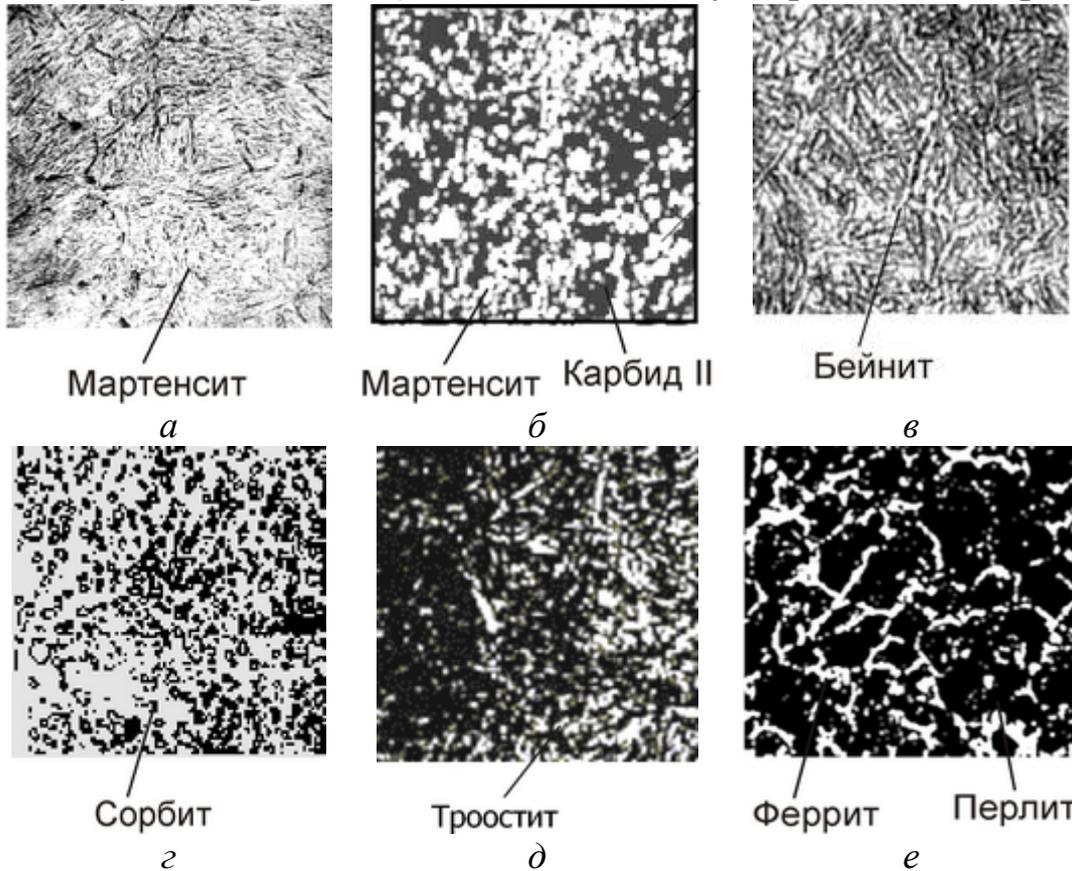


Рис. 5. Структура сталей после упрочняющей термической обработки: а, б – после закалки и низкого отпуска для до- и заэвтектоидных сталей соответственно; в – после изотермической закалки; г – после закалки и отпуска высокого; д – после закалки и среднего отпуска; е – после нормализации

#### 4.3.3. Улучшаемые стали

Содержат 0,3–0,5 % углерода. К ним относятся марки: 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 50Х, 30Г, 40Г, 35Г, 50Г, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 30ХГТ, 40ХФА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 30ХГС, 35ХГСА, 30ХМ, 35ХМ, 40ХН, 50ХН, 30ХН3А, 38ХГН, 30ХН2МА, 40Х2Н2МА (ГОСТ 4543–71).

Подвергаются термической обработке – улучшению (см. рис. 4, г) на структуру сорбит (см. рис. 5, д) с твердостью 25–35 НRC. Такая термическая обработка обеспечивает наилучшее сочетание прочности и вязкости, что обеспечивает конструкционную прочность деталям машин.

Для повышения контактной прочности, износостойкости трущихся поверхностей используют методы поверхностного упрочнения – поверхностную закалку или азотирование, которые выполняются после улучшения. Улучшение обеспечивает сорбитную структуру в сердцевине. Иногда применяют цементацию, но только для сталей с содержанием углерода не выше 0,3. %

Проводят поверхностную закалку ТВЧ для деталей из углеродистых сталей марок 40, 45, 50, 55, а так же из низколегированных сталей неглубокой прокаливаемости марок 35X, 40X, 45X, 40Г, 45Г, 45Г2 и др. За счет высокоскоростного нагрева при закалке ТВЧ получается мелкоигольчатый мартенсит на глубине от 2 до 5 мм. В результате обеспечивается повышенная твердость 52–62 HRC на поверхности, что на 2–3 HRC выше по сравнению с обычной закалкой.

Азотирование наиболее эффективно для сложнолегированных сталей. Классические для азотирования стали – 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 40Х, 40ХН3ФА, 40ХФА, 18ХГТ, 20ХН2МФ, 20Х3ВА и др. Низкотемпературное азотирование при 520–550 °С обеспечивает твердость 1100–1200 HV, но на глубине не более 0,5 мм. Азотируемые детали имеют преимущество: повышенную износостойкость, коррозионную стойкость и теплостойкость до 500 °С.

## **5. ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕКОТОРЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### *5.1. Рессорно-пружинные*

Стали предназначены для изготовления пружин, упругих элементов, рессор. Для обеспечения упругих свойств к ним предъявляются требования по пределу текучести, упругости, релаксационной стойкости при сохранении достаточной вязкости.

Пружинные свойства достигаются повышенным содержанием углерода 0,5–0,8 %, легированием сталей кремнием (1,5–2,8 %) и марганцем (0,6–1,2 %), термической обработкой на структуру троостит. Введение хрома, ванадия, вольфрама, никеля повышают прочность, прокаливаемость, закаливаемость сталей, снижают склонность к росту зерна и к обезуглероживанию.

По структурному признаку это стали перлитного класса. Типовой режим их термической обработки (рис. 6, а) заключается в пол-

ной закалке и среднетемпературном отпуске на структуру троостит с твердостью 38–48 HRC (рис. 5, д). Срок службы пружин повышает использование обработки ППД, а также патентирования холоднотянутой проволоки.

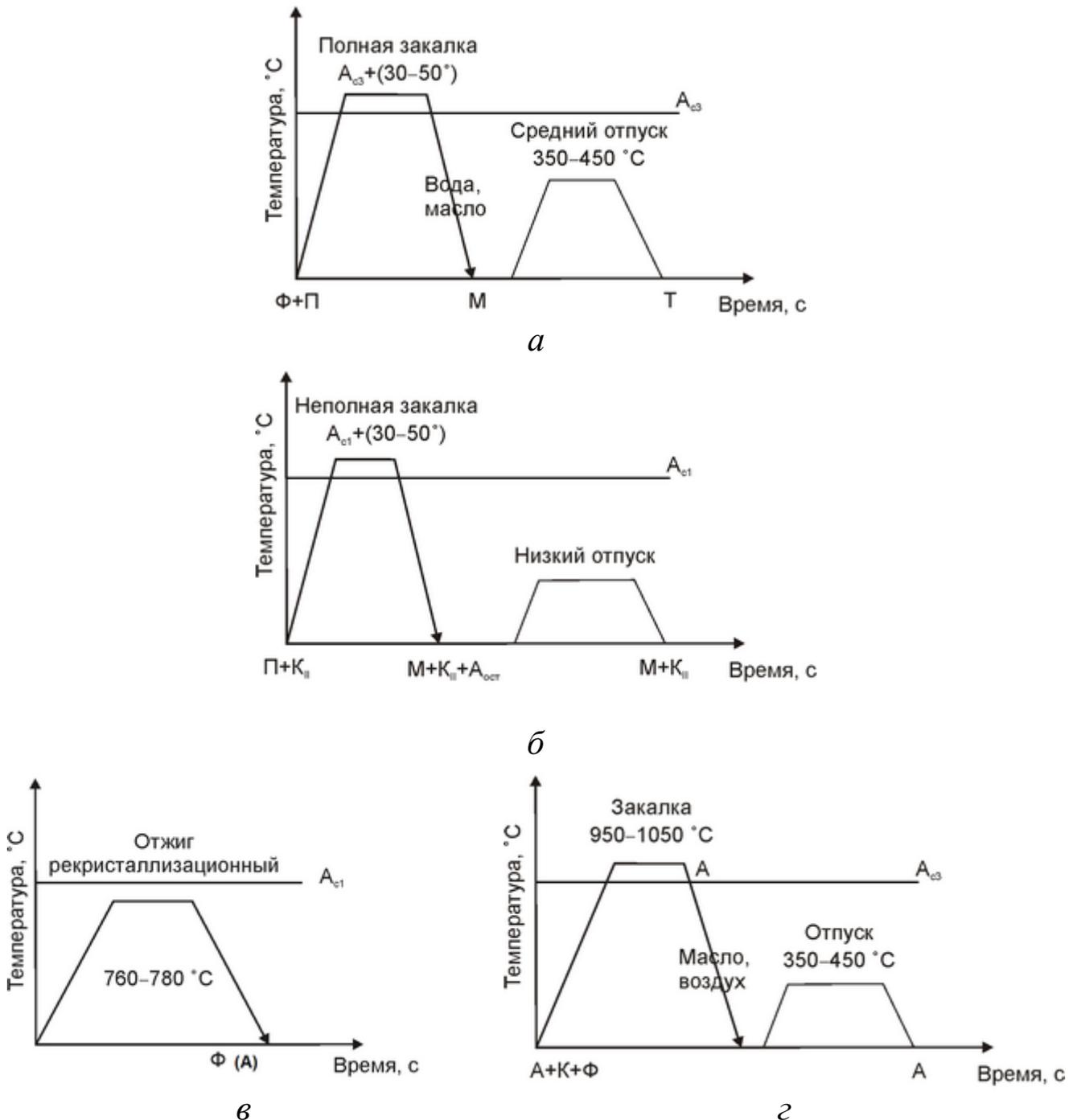


Рис. 6. Типовые режимы термической обработки сталей специального назначения:

- a* – рессорно-пружинных; *б* – подшипниковых;
- в* – нержавеющей ферритного и аустенитного класса;
- г* – нержавеющей сталей аустенитного класса

Углеродистые стали и низколегированные стали марок 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г (ГОСТ 1050–88) используют для ненагруженных и средненагруженных пружин малого сечения. Легированные стали марок 55С2, 60С2А, 70С3А, 50ХГФА, 50ХФА, 50ХСА используют для нагруженных пружин, а для высоконагруженных пружин – комплекснолегиованные стали марок 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А, 70ХГФА (ГОСТ 14959–79).

### *5.2. Износостойкие стали*

Предназначены для изготовления деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного, усталостного изнашивания, а также в условиях больших контактных давлений и ударных нагрузок. Высокая износостойкость обеспечивается за счет высокой твердости стали. Поэтому к износостойким материалам относятся стали с высоким содержанием углерода, которые обрабатывают на максимальную твердость. Это подшипниковые стали и стали Гатфильда.

Стали, устойчивые к усталостному изнашиванию, марок ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ20СГ (ГОСТ 801–78) называются подшипниковыми. Они предназначены для изготовления шариков, роликов, внутренних и внешних колец подшипников качения. Для обеспечения максимальной твердости эти стали содержат 1 % С, а для улучшения технологических свойств, в том числе и прокаливаемости, их легируют хромом, который указывается в маркировке в десятых долях процента. По структурному признаку это стали перлитного класса, заэвтектоидные.

В состоянии поставки подшипниковые стали должны иметь структуру зернистых перлита и вторичных карбидов (180–220НВ) (см. рис. 1, в). Для повышения усталостной прочности к ним предъявляются высокие требования по качеству. Это высококачественные стали, поэтому подшипниковые стали контролируют на наличие карбидной сетки и неметаллических включений.

Типовой режим упрочняющей термической обработки направлен на обеспечение максимальной твердости и заключается в неполной закалке и низком отпуске (рис. 6, б). Окончательная структура состоит из мартенсита и вторичных карбидов (рис. 5, б) с твердостью 60–64 HRC.

В качестве износостойких сталей применяются стали Гатфильда марок 110Г13Л, 300Г34Л, 370Х7Г7СЛ. Это стали аустенитного класса, поэтому они характеризуются высокими показателями вязкости. Эксплуатируются в условиях интенсивных динамических нагрузок в сочетании с абразивным износом.

Детали из этих сталей изготавливают методом литья. Их подвергают закалке, цель которой заключается в получении однородной аустенитной структуры (см. рис. 1, д) за счет растворения вторичных карбидов при нагреве под закалку. Ввиду большой вязкости аустенита стали способны упрочняться в процессе эксплуатации в условиях ударных нагрузок за счет наклепа. Это приводит к увеличению твердости, а следовательно, износостойкости деталей.

Из сталей Гатфильда изготавливают зубья экскаваторов, стрелки и крестовины для соединения рельс, черпаки и козырьки землечерпальных машин, гусеницы тракторов.

### 5.3. Автоматные стали

Это стали хорошей обрабатываемости резанием, их применяют для обработки на станках с программным управлением и автоматических линиях.

Обрабатываемость резанием низкоуглеродистых сталей улучшается за счет введения повышенного количества серы (0,08–0,3 %) и фосфора (0,05–0,15 %), а также свинца (0,15–0,3 %) и кальция (0,002–0,008 %). Эти элементы способствуют формированию при резании стружки скалывания взамен сливной, благодаря образованию в структуре глобулярных включений.

Используются автоматные стали марок: с повышенным содержанием серы и фосфора – А12, А20, А30, А35, А40Г; с повышенным содержанием свинца – АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2; с повышенным содержанием кальция – АЦ20, АЦ30, АЦ40Х, АЦ30ХН (ГОСТ 1414–75). Цифры после буквы А указывают на содержание углерода в сотых долях процента; С – стали со свинцом, Ц – стали с кальцием; в остальном маркировка аналогична легированным сталям.

Вид термической обработки определяется условиями эксплуатации деталей, содержанием углерода в сталях и соответствует типовым режимам термической обработки для сталей общего назначения (см. п.4, рис. 4).

#### 5.4. Коррозионно-стойкие стали

Это стали, к которым предъявляются повышенные требования по коррозионной стойкости. Она обеспечивается за счет легирования и термической обработки. По химическому составу коррозионно-стойкие или нержавеющие стали подразделяют на две группы – хромистые и хромоникелевые (ГОСТ 5632–72).

В общем машиностроении широко применяются хромистые стали, содержащие более 12,5 % хрома. Хром растворяется в твердом растворе и изменяет его электропотенциал с электроотрицательного на электроположительный. Тем самым обеспечивает высокую коррозионную стойкость сталям. Коррозионная стойкость повышается за счет однородной структуры.

Структура, термическая обработка и свойства хромистых сталей зависят от количества углерода и хрома.

Стали марок 08X13, 12X17, 15X25T по своему признаку являются сталями ферритного класса и имеют структуру феррита или феррита с небольшим количеством карбидов хрома (рис. 1, г). Упрочняющей обработке эти стали не подвергаются, так как у них отсутствует полиморфное превращение. Их можно упрочнять только за счет наклепа в процессе холодной обработки давлением (ХПД). Возможны следующие варианты термической обработки: для получения однородной структуры феррита выполняется закалка, при которой в процессе нагрева происходит растворение карбидов хрома (рис. 6, з); для получения мелкозернистой структуры феррита используется рекристаллизационный отжиг после ХПД (рис. 6, в).

Хромистые стали марок 12X13, 20X13, 30X13, 40X13 относятся к сталям мартенситного класса (кроме 12X13 – феррито-мартенситная). Это значит, что они претерпевают полное (частичное) фазовое  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение и закаливаются на воздухе. Упрочняющая обработка этих сталей зависит от назначения.

Хромистые стали используются для изготовления деталей машин (шестерни, валы и др.) и подвергаются термическому улучшению на структуру сорбит (рис. 4, з). Коррозионно-стойкие пружины, рессоры, режущий инструмент и детали подшипников качения чаще всего изготавливают из сталей марок 30X13, 40X13. Типовой режим

их термической обработки соответствует инструментальным сталям и заключается в закалке и низкотемпературном отпуске на структуру мартенсит с включениями вторичных карбидов (рис. 6, б).

Ко второй группе нержавеющей сталей относятся хромоникелевые стали марок 04X18H10, 08X18H10, 12X18H10T, 17X18H9, 10X13H2T, 10X14Г14Н4Т, 12X17Г9АН4 (ГОСТ 5632–72). Это стали аустенитного класса. По сравнению с хромистыми сталями обладают более высокими показателями по коррозионной стойкости, т.к. аустенит парамагнитен и обладает электроположительным потенциалом.

Нержавеющие аустенитные стали имеют невысокие показатели прочности, поэтому для нагруженных деталей машин они не применяются. Их используют для сварных конструкций, работающих в агрессивных средах.

Для получения однородной аустенитной структуры применяется стабилизирующая закалка. Ее цель – растворение вторичных карбидов при нагреве и подавление их последующего выделения из аустенита за счет ускоренного охлаждения. Заключительной операцией является отпуск для снятия напряжений или старение для обеспечения эффекта упрочнения (рис. 6, з). За счет однородной аустенитной структуры снижается межкристаллитная коррозия внутри металла, которая возникает из-за разности электропотенциалов фаз.

Упрочнить аустенитные стали, так же как ферритные, можно только ХПД, т.е. за счет наклепа.

## **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

5.1. Познакомиться с методическими указаниями и законспектировать основные теоретические положения. Подготовить таблицу (прил. 1) для внесения результатов при оформлении отчета по лабораторной работе.

5.2. Для заданных марок сталей определить класс сталей по структуре.

5.3. Определить вид упрочняющей термической обработки, свойства и область применения конструкционных сталей, используя справочные материалы, приведенные в прил. 2.

5.4. Используя микроскопы, ознакомиться с микроструктурой легированных сталей в равновесном состоянии и после упрочняющей термической обработки.

5.5. Результаты лабораторной работы внести в таблицу отчета.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Влияние легирующих элементов на фазовый состав сталей?

2. Как меняют легирующие элементы на основные линии, на положение критических температур диаграмм состояния, на концентрации предельной растворимости твердых растворов, эвтектической и эвтектоидной реакций?

3. Перечислите основные классы легированных сталей по структуре в равновесном состоянии.

4. Какие стали относятся к сталям перлитного, ферритного, аустенитного и карбидного класса?

5. Как подразделяются конструкционные стали по назначению?

6. Основные особенности маркировки конструкционных сталей общего и специального назначения.

7. Назовите основные виды типовых режимов упрочняющей термической обработки сталей общего и специального назначения: строительных, цементуемых, улучшаемых, пружинных, износостойких, автоматных, нержавеющей.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов Б. Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ, 2004. – 648 с.

2. Лахтин, Ю. М. Материаловедение и термическая обработка / Ю. М. Лахтин. – Москва: Альянс, 2009. – 448 с.

3. Короткова, Л. П. Конструкционные материалы: учеб. пособие / Л. П. Короткова; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90168&type=utchposob:common>

4. Материаловедение и технология материалов / Г. П. Фетисов [и др.]. – Москва: Высш. шк., 2005. – 862 с.

5. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – Москва: Машиностроение, 2003. – 784 с.
6. Конструкционные материалы : справочник / под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 688 с.
7. Материаловедение. Применение и выбор материалов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Солнцев Ю.П. [и др.] – Санкт-Петербург: Химиздат 2007 – 200 с.  
[www.bibliociub.ru/102722 Materialovedenie\\_Primenenie\\_i\\_vybor\\_materialov\\_Uchebnoe\\_posobie.html](http://www.bibliociub.ru/102722_Materialovedenie_Primenenie_i_vybor_materialov_Uchebnoe_posobie.html)
8. Гольдштейн М. И. Специальные стали : учеб. для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : Metallurgiya, 1985. – 408 с.
10. Материаловедение и технология материалов / Г. П. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2002. – 638 с.
11. Металлы и сплавы : справочник / под ред. Ю. П. Солнцева. – СПб. : АНО НПО «Профессионал» ; АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1 066 с.
12. Франценюк, И. В. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 192 с.

## ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Марка стали	Класс стали	Микроструктура в равновесном состоянии	Упрочняющая термическая обработка	Микроструктура после термической обработки	Механические свойства			Назначение
					$\sigma_B$	$\delta, \%$	НВ	

Структура, упрочняющая термическая обработка, свойства и применение легированных сталей

Марка стали	Структурный класс	Структура в равновесном состоянии	Способы упрочнения	Основные свойства после упрочнения	Структура после ТО	Применение
1	2	3	4	5	6	7
Стали общего назначения (ГОСТ 4543–71)						
Малоуглеродистые хромистые 15Х, 20Х, 20ХА	Перлитный	Ф+П	Цементация, полная закалка, неполная закалка, низкий отпуск	HRC 58–64 – поверхности на глубине до 2 мм, HB 179–250 – в сердцевине, $\sigma_B = 610–640$ МПа, $\delta = 15–13$ %	М+К <sub>ц</sub> – поверхности; С – в сердцевине	Поршневые пальцы, толкатели, крестовины карданного шарнира, распределительный вал и коромысла газораспределительного механизма двигателей
			Полная закалка, неполная закалка, низкий отпуск	$\sigma_B = 690–780$ МПа, $\delta = 9–11$ %	М	

М – мартенсит;  
 С – сорбит;  
 К<sub>ц</sub> – карбиды;  
 Т – троостит;  
 Б – бейнит

1	2	3	4	5	6	7
Хромомолибденовые, хромованадиевые 15ХФ, 15ХМ, 20ХМ	Перлитный	Ф+П	Цементация, полная закалка, неполная закалка, низкий отпуск	HRC 58–62 поверхности на глубине 1–1,5 мм, HB ≤ 250 сердцевины, $\sigma_b = 960–980$ МПа, $\delta = 9–12$ %	М+К <sub>П</sub> – поверхности; С – в сердцевине	Поршневые пальцы, толкатели, крестовины карданного шарнира, распределительный вал и коромысла газораспределительного механизма двигателей
Малоуглеродистые хромомарганцевые 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ			Полная закалка, низкий отпуск	HRC 35–45, $\sigma_b = 1000–1500$ МПа, $\delta = 9–10$ %	М	Цементуемые детали ответственного назначения, от которых требуется повышенная прочность и вязкость сердцевины, а также высокая поверхностная твердость, работающие под действием ударных нагрузок
Малоуглеродистые хромоникелевые 12ХН3А, 20ХН3А, 20Х2Н4А			Цементация, полная закалка, неполная закалка, низкий отпуск	HRC 58–62 поверхности на глубине 0,8–1,6 мм, HB ≥ 240 сердцевины, $\sigma_b = 900–1230$ МПа, $\delta = 10–12$ %	М+К <sub>П</sub> – поверхности; Б или М – в сердцевине	Конические шестерни главной передачи, крестовины дифференциала, шестерни и валы коробок передач большегрузных автомобилей, поршневые пальцы
			Полная закалка, низкий отпуск	HRC 35–40, $\sigma_b = 950–1270$ МПа, $\delta = 12–9$ %	М	

1	2	3	4	5	6	7
Среднеуглеродистые хромистые 30X, 35X, 40X, 38XA	Перлитный	Ф+П	Улучшение	НВ 187–278, $\sigma_b = 680\text{--}980$ МПа, $\delta = 12\text{--}9\%$	С	Для осей, валиков, рычагов, болтов, гаек и других некрупных деталей
			Поверхностная закалка ТВЧ с низким отпуском после улучшения	HRC 54–62 поверхности, НВ $\leq 250$ сердцевины, $\sigma_b = 900\text{--}1000$ МПа, $\delta = 10\text{--}12\%$	М – на поверхности; С – в сердцевине	
Марганцевые стали 40Г2, 45Г2			Улучшение	НВ 210–240, $\sigma_b = 670\text{--}700$ МПа, $\delta = 11\text{--}12\%$	С	Шатуны, полуоси, вилки переключения передач, коленчатые и карданные валы, распределительные валики
Хромомолибденовые, хромованадиевые 30ХМА, 35ХМ, 40ХФА, 40ХМФА			Улучшение	НВ 270–300, $\sigma_b = 950\text{--}1050$ МПа, $\delta = 11\text{--}13\%$	С	Шатуны, полуоси, вилки переключения передач, коленчатые и карданные валы, распределительные валики, шпильки, гайки и другие детали, работающие при температуре 450–500 °С
Хромокремнемарганцевые (хромансилы) 30ХГСА, 35ХГСА			Улучшение	НВ 270–320, $\sigma_b = 1000\text{--}1100$ МПа, $\delta = 10\%$	С	Шатунные болты, болты маховика, шаровые пальцы, рычаги рулевого управления, поворотные цапфы

1	2	3	4	5	6	7
Хромоникелевые 40ХН, 40ХГНМ, 40ХГНР, 30ХН2МА, 38Х2Н2МА	Перлитный	Ф+П	Улучшение	НВ 300–400, $\sigma_B = 1000–1200$ МПа, $\delta = 10\%$	С	Шатунные болты, болты маховика, шаровые пальцы, рычаги рулевого управления, поворотные цапфы
Хромоалюминиевые 38Х2Ю, 38Х2МЮА, 38ХМЮА, 38ХВФЮА			Азотирование после улучшения	НВ 850–1050 поверхности на глубине 0,5 мм, НВ 285–302 сердцевины, $\sigma_B = 930–1030$ МПа, $\delta = 12–15\%$	Азотированная зона на поверхности; С – в сердцевине	Штоки клапанов паровых турбин, работающие при температуре до 450 °С, плунжеры топливной аппаратуры, иглы форсунок
Стали специального назначения						
Автоматные стали (ГОСТ 1414–75)						
Углеродистые А11, А12, А20	Перлитный	Ф+П	Нормализация	НВ 207–217, $\sigma_B = 470–540$ МПа, $\delta = 7–10\%$	Ф+П	Болты, винты, пробки, сухари, ролики, валики привода спидометров и др.
Углеродистые А30, А35, А40Г, АС40			Нормализация	НВ 223–229, $\sigma_B = 550–650$ МПа, $\delta = 6–19\%$	Ф+П	Болты, винты, пальцы, оси, ходовые винты
Углеродистые АС14, АС20			Нормализация	НВ 207, $\sigma_B = 500$ МПа, $\delta = 10\%$	Ф+П	Шестерни спидометра, валы рулевого управления, поршни тормозных цилиндров и др.

1	2	3	4	5	6	7
Легированные АС12ХН, АС14ХГН, АС19ХГН, АС20ХГНМ	Перлитный	Ф+П	Цементация (нитроцементация) закалка, низкий отпуск	HRC 52–58 поверхно- сти, НВ 187–201 сердцеви- ны, $\sigma_b = 650–1200$ МПа, $\delta = 7–10$ %	М – на поверхности; Б или М – в сердцевине	Муфты, гайки, храповина коленчато- го вала, рычаги переключения пере- дач, оси сателлитов, пальцы, валики, разные шестерни, распорные втулки и др.
			Закалка, низкий отпуск	НВ 201–223, $\sigma_b = 650–1200$ МПа, $\delta = 7–10$ %	М	
			Легированные АС35Г2, АС45Г2, АЦ40Х	Улучшение	НВ 223–229, $\sigma_b = 650$ МПа, $\delta = 6–19$ %	С
Легированные АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ, АЦ30ХН			Улучшение	НВ 229–262, $\sigma_b = 750–1000$ МПа, $\delta = 11–12$ %	С	Стопорные кольца подшипников, ро- лики вала сошки рулевого управле- ния, тормозных колодок, шестерни спидометра, валы рулевого управле- ния, поршни тормозных цилиндров и т.п.
Рессорно-пружинные стали (ГОСТ 14959–79)						
Легированные 55ГС, 55С2, 55С2А, 60С2Г	Перлитный	Ф+П	Закалка, средний отпуск	НВ 285–321, $\sigma_b = 800–1325$ МПа, $\sigma_{0,2} = 800–1325$ МПа, $\delta = 6$ %	Т	Рессоры, конструктивные элементы тормозных шин, пружины задней и верхней подвески, рычаги привода регулятора давления задних тормозов и др.

1	2	3	4	5	6	7
Легированные 50ХФА, 50ХСА	Перлитный	Ф+П	Закалка, средний отпуск	НВ 302, $\sigma_B = 1270\text{--}1325$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1080\text{--}1180$ МПа, $\delta = 6\text{--}8\%$	Т	Пружины пальцев торсионов, секцион- ных колец поршней, клапанных пружин
Легированные 70С3А			Закалка, средний отпуск	НВ 302, $\sigma_B = 1470$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1670$ МПа, $\delta = 6\%$	Т	Тяжелонагруженные пружины ответ- ственного назначения
Легированные 70ХГФА			Закалка, средний отпуск	НВ 302, $\sigma_B = 1700$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1860$ МПа, $\delta = 5\%$	Т	Клапанные пружины
Сложно - легированные 60С2ХВА, 60С2ХА, 65С2ВА, 70ХВА			Закалка, средний отпуск	НВ 320, $\sigma_B = 1470\text{--}1860$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1325\text{--}1665$ МПа, $\delta = 5\text{--}6\%$	Т	Для ответственных средне- и сильно- нагруженных пружин
Износостойкие стали (ГОСТ 800–78)						
Подшип - никовые ШХ4, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ	Перлитный	П+К <sub>II</sub> зерн.	Закалка, низкий отпуск	HRC 60–62, $\sigma_B = 2160\text{--}1860$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1325\text{--}2550$ МПа, КСУ = 0,3–0,5 МДж/м <sup>2</sup>	М+К <sub>II</sub>	Втулки плунжеров, плунжеры, нагне- тательные клапаны, седла нагне- тательных клапанов, ролики толкате- лей, кулачки, копиры, накладные направляющие и др.

1	2	3	4	5	6	7
Стали Гатфильда 110Г13Л, 300Г34, 370Х7Г7С	Аустенитный	А+К	Без термообработки, холодная пластическая деформация	НВ 186–220, $\sigma_b = 654–830$ МПа, $\sigma_{0,2} = 360–380$ МПа, $\delta = 34–53$ %	А+К	Зубья экскаваторов; траки гусениц тракторов, бульдозеров, экскаваторов; крестовины
Коррозионностойкие (нержавеющие) стали (ГОСТ 5632–72)						
12Х17, 15Х25Т	Ферритный	Ф	Без упрочняющей термообработки, ХПД	$\sigma_b = 400–450$ МПа, $\delta = 12–29$ %	Ф	Детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся ударным нагрузкам; изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред при комнатной температуре
20Х13, 08Х13	Мартенсито-ферритный	С+Ф	Улучшение	НВ 270–285, $\sigma_b = 700–950$ МПа, $\sigma_{0,2} = 500–725$ МПа, $\delta = 20–14$ %	С	Втулки, валы, оси, болты, гайки, работающие в коррозионностойких средах
30Х13, 40Х13	Мартенситный	С или С+К <sub>II</sub>	Закалка, низкий отпуск	HRC $\geq 52$ , $\sigma_b = 1600–2000$ МПа, $\delta = 3–2$ %	М+К <sub>II</sub>	Пружины, рессоры, бандажи; карбюраторные иглы, детали подшипников, работающие в коррозионностойких средах

1	2	3	4	5	6	7
12X18H9T, 12X18H10T, 08X18H12Б, 10X14Г14Н14Т	Аустенитный	А+К	Без упрочняющей термообработки	НВ 200–250, $\sigma_b = 500–550$ МПа, $\sigma_{0,2} = 150–240$ МПа, $\delta = 40–60$ %	А+К	Сварные коррозионностойкие конструкции, выхлопные системы (глушители), детали печной аппаратуры
Жаропрочные стали						
40X9C2, 40X10C2M, 30X13H7C2, 10X13CЮ	Мартенситный	С+К <sub>II</sub>	Закалка на мартенсит, старение	$\sigma_1 = 40–90$ МПа при $T = 550$ °С	М+К <sub>II</sub>	Выпускные клапаны автомобильных моторов: с рабочей температурой 600–650 °С, теплообменники, колосники, крепежные детали
45X14H14B2M, 55X20Г9АН4, 45X22H4M3, 45X15H8MC4, 45X14B2M, 10X11H20T3P, 10X14H35T2P	Аустенитный	А+К <sub>II</sub>	Закалка на аустенит, старение	$\sigma_1 = 30–40$ МПа при $T = 650–700$ °С	А	Выпускные клапаны с рабочей температурой 750–900 °С, детали арматуры и трубопроводов

Составители

Лидия Павловна Короткова  
Светлана Викторовна Лащенина

ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ  
ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Методические указания лабораторной работе по дисциплине  
«Материаловедение» для студентов направлений  
15.03.05. (151900.62) «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств», 15.03.01. (150700.62)  
«Машиностроение», 23.03.03. (190600.62)  
«Эксплуатация транспортно-технологических машин  
и комплексов», 18.03.02. (241000.62)  
«Энерго-и ресурсосберегающие процессы химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»; по дисциплине «Основы  
материаловедения» направления 27.03.02. (221400.62)  
«Управление качеством» всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 08.12.2014. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,4.

Тираж 50 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

---