

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

**А.С. Орлов, Е.Г. Рубцова, И.Ю. Зиброва**

## **Конструкционные металлы и сплавы. Технология конструкционных материалов**

*Лабораторный практикум  
для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров  
270800 «Строительство», 131000 «Нефтегазовое дело»,  
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»;  
специалистов 271501 «Строительство железных дорог, мостов  
и транспортных тоннелей», 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений»*

Воронеж 2014

УДК 669.01 (075.8)

ББК 34.2

О-664

**Рецензенты:**

*кафедра материаловедения и физики металлов  
Воронежского государственного технического университета;  
М.П. Смирнов, генеральный директор Российского общества  
инженеров-строителей*

**Орлов, А.С.**

О-664 **КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ.  
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ** : лаб. практикум /  
А.С. Орлов, Е.Г. Рубцова, И.Ю. Зиброва; Воронежский ГАСУ. – Воро-  
неж, 2014. – 87 с.

ISBN 988-5-89040-489-3

Описаны методы макроскопического анализа металлов и сплавов, рассмотрены микроструктура и свойства сплавов системы железо-углерод, классификация видов, теория и практика термической обработки сталей. Дана классификация и маркировка сталей, чугунов и цветных сплавов, применяемых в строительстве. Изложена методика выполнения лабораторных работ и контрольных заданий. Дан список рекомендуемой учебно-методической и нормативно-технической литературы.

Предназначено для студентов всех форм обучения направлений подготовки бакалавров 270800 «Строительство», 131000 «Нефтегазовое дело», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»; специалистов 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Ил. 24. Табл. 25. Библиогр.: 40 назв.

**УДК 669.01 (075.8)  
ББК 34.2**

*Печатается по решению научно-методического совета  
Воронежского ГАСУ*

ISBN 988-5-89040-489-3

© Орлов А.С., Рубцова Е.Г.  
Зиброва И.Ю., 2014  
© Воронежский ГАСУ, 2014

## Введение

Конструкционные металлы и сплавы – наука о строении и свойствах материалов, применяемых в конструкциях, способах их производства и обработки с целью получения изделий с заданными свойствами и параметрами.

**Цель изучения дисциплины** – получение студентами знаний о структуре и свойствах металлических материалов, закономерностях их изменения в процессе обработки и эксплуатации и применение этих знаний для осуществления рационального выбора материалов при проектировании, изготовлении и ремонте металлических конструкций и деталей машин.

При изучении курсов «Конструкционные металлы и сплавы», и «Материаловедение и технология конструкционных материалов» студентами заочной и дистанционной форм обучения основное внимание должно уделяться самостоятельной работе с учебной и справочной литературой.

**Задача освоения дисциплины:** изучение взаимосвязи между составом, структурой и свойствами металлов и сплавов; изучение классификации и маркировок металлических сплавов и областей их применения; ознакомление с современными технологиями термической обработки, с применяемым оборудованием, инструментом, оснасткой; ознакомление с методами исследования металлических материалов.

### **Студенты должны знать:**

- строение, структуру, способы получения металлов и сплавов, зависимость свойств от структуры;
- способы регулирования свойств и осуществления рационального выбора наиболее подходящего материала для конкретного изделия;
- классификацию и маркировку сталей, чугунов, цветных металлов.

### **Студенты должны иметь представление:**

- о процессах кристаллизации металлов и сплавов;
- о диаграммах состояния сплавов;
- о дефектах строения кристаллов и их влиянии на свойства металлов и сплавов;
- о деформационном упрочнении и рекристаллизации;
- о закаливаемости, прокаливаемости и др. технологических свойствах;
- о теории легирования и принципиальных направлениях создания металлических материалов с особыми физико-механическими свойствами.

### **Студенты должны уметь:**

- правильно выбрать материал, назначить его обработку с целью получения заданной структуры и свойств, обеспечивающих высокую надежность и долговечность металлических конструкций;
- оценивать поведение материала при воздействии на него различных факторов и на этой основе назначать условия, режим и сроки эксплуатации изделия, определять опытным путем основные характеристики материалов.

# Лабораторная работа № 1

## МАКРО- И МИКРОАНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 1.1. Цели работы

Ознакомление с методикой проведения макроструктурного анализа; получение практических навыков изучения поверхностей, изломов и макрошлифов деталей и соединений; выявление и классификация макродефектов; изучение области применения макроанализа в производстве.

Изучение методики микроскопического исследования металлов и сплавов; ознакомление с процессом приготовления микрошлифов; изучение устройства металлографического микроскопа и приобретение практических навыков работы на нем; проведение микроанализа сплавов и приобретение навыков зарисовки простейших микроструктур.

### 1.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Наборы деталей и макрошлифов, имеющих дефекты структуры.
2. Изломы образцов с характерными дефектами или фотографии изломов.
3. Лупа х 4 – х 7.
4. Металлографический микроскоп МИМ-7.
5. Набор металлографических шлифов и реактивов для выявления микроструктур.
6. Шлифовально-полировальный станок.
7. Фильтровальная бумага.

### 1.3. Теоретические сведения

Перед выполнением работы следует ознакомиться с методикой, возможностями и оборудованием для макроанализа и микроанализа.

#### 1.3.1. Макроскопический анализ (макроанализ)

**Макроскопический анализ (макроанализ)** металлов и сплавов заключается в исследовании их строения невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз). Макроанализ позволяет оценить качество металла, его сплошность; выявить наличие макродефектов; характер предшествующей обработки (литье, обработка давлением, сварка, термическая обработка, наплавка и т.д.); структурную и химическую неоднородность; волокнистость, причины и характер разрушения. Наблюдаемая структура называется **макроструктурой** и может быть зафиксирована фотоснимком или рисунком.

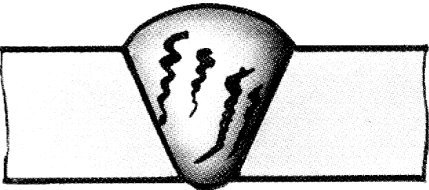
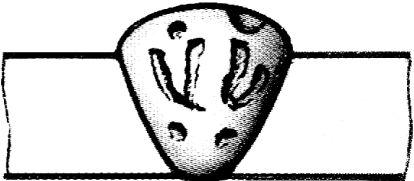
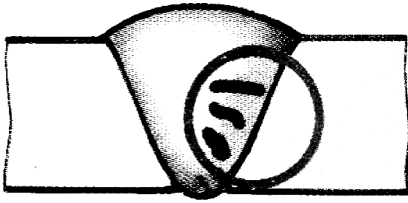
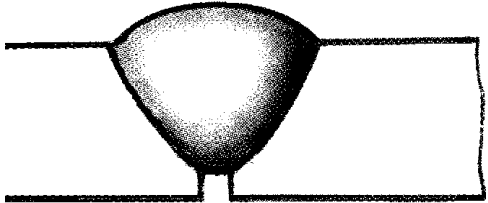
Существуют три основных способа изучения макроструктуры:

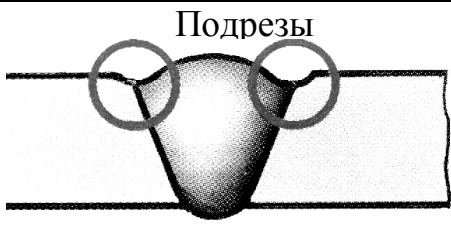
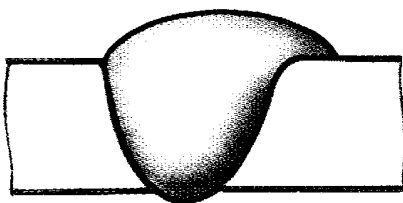
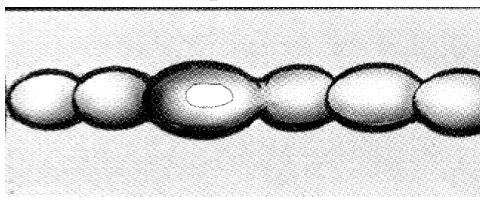
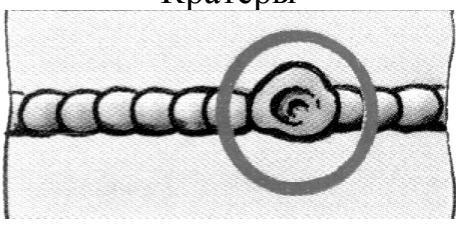
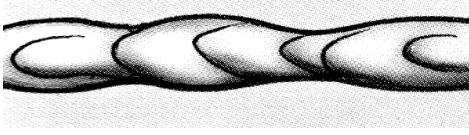
1. Просмотр хорошо отшлифованной и протравленной контролируемой поверхности готового металлического изделия. В этом случае изделие не разрушается и после контроля идет в эксплуатацию.
2. Просмотр специально приготовленных макрошлифов.
3. Изучение излома образца (фрактография).

Изучение поверхностных дефектов (расположенных непосредственно на поверхности) позволяет выявить наиболее часто встречающиеся дефекты при литье, обработке давлением, термической обработке: пригар, усадочные пустоты и газовые раковины, трещины и неметаллические включения и т.д. В сварных соединениях основными дефектами являются трещины, непровары, подрезы и др. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

*Дефекты сварных соединений*

Вид дефекта	Характеристика дефекта (структуры)	Причины появления дефекта или характерной структуры
<p>Трещины</p> 	Горячие и холодные трещины	Резкое охлаждение конструкции Повышенное содержание серы или фосфора
<p>Поры</p> 	Пустоты, заполненные газом	Быстрое охлаждение шва Загрязнение кромок маслом, ржавчиной и т.п. Непросушенные электроды Высокая скорость сварки
<p>Неметаллические включения</p> 	Округлые или вытянутые включения шлака, расположенные в металле шва у границы сплавления	Грязь на кромках Малый сварочный ток Большая скорость сварки
<p>Непровар</p> 	Местное отсутствие соединения основного металла с наплавлением	Малый угол скоса вертикальных кромок Малый зазор между ними Загрязнение кромок Недостаточный сварочный ток Завышенная скорость сварки

Вид дефекта	Характеристика дефекта (структуры)	Причины появления дефекта или характерной структуры
<p>Подрезы</p> 	Местное уменьшение толщины основного металла у границы шва	Неправильный подбор параметров режима сварки
<p>Наплывы</p> 	Натекание металла шва на поверхность основного металла без сплавления с ним	Неправильный подбор параметров режима сварки
<p>Прожог</p> 	Полость в шве, образовавшаяся в результате вытекания сварочной ванны	Неправильный подбор параметров режима сварки
<p>Кратеры</p> 	Незаваренные углубления в конце шва, часто с усадочными раковинами, переходящими в трещины	Обрыв дуги Неправильное выполнение конечного участка шва
<p>Неравномерная форма шва</p> 	Нарушение размеров швов	Неправильная сборка Неустойчивый режим сварки Неточное направление электрода

Небольшие поверхностные дефекты можно удалить зачисткой. Вопрос о возможности исправления дефектов решается в каждом конкретном случае, исходя из технических требований к изделиям. Количество дефектов в сварном шве – объективный показатель рациональности принятого технологического режима, пригодности и кондиции используемых сварочных материалов и основного металла, квалификации сварщика, общей культуры производства.

Внутренние дефекты обнаруживают при изучении **изломов и макрошлифов**. **Макрошлиф** – это образец с плоской шлифованной и протравленной поверхностью, вырезанный из исследуемого участка детали или заготовки. Его

получают следующим образом: на металлорежущем станке или ножовкой вырезают образец, который затем шлифуют вручную или на шлифовально-полировальном станке, промывают водой, просушивают и подвергают травлению. В качестве реактивов для выявления макроструктуры многих марок стали применяют горячий (60-80 °С) 50 %-й раствор соляной кислоты; 10-20 %-й раствор серной кислоты, смеси серной и соляной кислот. Реактив, активно взаимодействуя с участками, где имеются дефекты и неметаллические включения, протравливает их более глубоко и сильно. Поверхность получается рельефной. Травление позволяет выявить в заготовках и изделиях из сталей, чугунов и цветных сплавов, сварных соединениях из сталей ликвацию, макроструктуру литого или деформированного металла, дефекты, структурную неоднородность материала, подвергнутого термической или химико-термической обработке.

**Изучение изломов** (фрактография) – доступный и распространенный способ анализа структуры металлов. Фрактографический метод является одним из немногих, способных ответить на вопрос о причинах и механизме нарушения сплошности металла. Исследование изломов невооруженным глазом либо при небольших увеличениях (до 60 раз) позволяет получить общую картину процесса разрушения (макрофрактография). Возможность более подробного и полного изучения рельефа в пределах нескольких зерен и субзерен реализуется при использовании более значительных увеличений до нескольких тысяч и десятков тысяч раз (микрофрактография).

**Изломом** называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металла. В зависимости от состава и строения металлов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы могут иметь вязкий, хрупкий или смешанный характер.

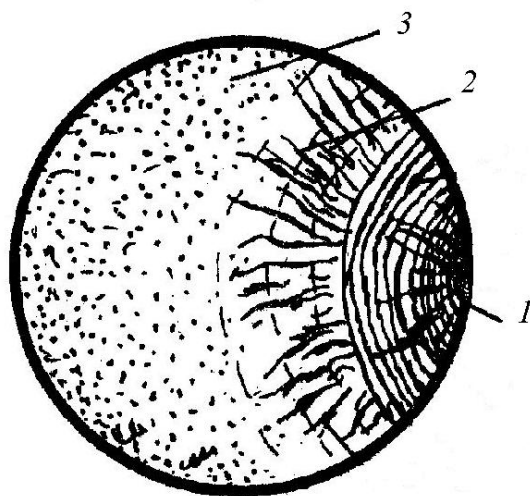
**Вязкий (волоконистый) излом** характеризуется наличием волокон, образующихся при пластической деформации зерен в процессе разрушения. Он имеет матовую шероховатую поверхность в случае распространения разрушения в плоскости, перпендикулярной направлению действия максимальных растягивающих напряжений. Когда разрушение совпадает с направлением действия касательных напряжений, волоконистый излом приобретает более блестящий, шелковистый вид.

**Хрупкий (кристаллический) излом** образуется в условиях разрушения с малой пластической деформацией, характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Различают крупнокристаллические и мелкокристаллические изломы в зависимости от степени дисперсности фасеток. Поверхность разрушения с почти неразличимым мелкокристаллическим строением, гладкая, матовая, сходная с поверхностью разрушения фарфора классифицирует излом как *фарфоровидный*. Излом называется *транскристаллическим*, когда проходит через зерна, и *интеркристаллическим*, когда разрушение идет по границам зерен. Разрушение по границам зерен имеет место при наличии на границах неметаллических включений (фосфиды, сульфиды, оксиды) или других выделений, ослабляющих прочность границ зерен.

К числу практически неустраняемых дефектов, вызванных нарушениями технологии термической и горячей механической обработки, относится *нафталинистый* излом, отличающийся крупнозернистым строением и образованием на поверхности гладких, блестящих фасеток неметаллического вида.

*Хрупкое разрушение наиболее опасно*, так как происходит чаще всего при напряжениях ниже предела текучести материала. Его возникновению способствует наличие поверхностных дефектов, конструктивные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделения по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия.

Обычно **изломы** бывают **смешанные**, когда сочетаются участки вязкого и хрупкого разрушения. Примером такого излома является **усталостный** (рис. 1.1), образующийся в результате длительного воздействия на металл циклически меняющихся напряжений и деформаций. Излом состоит из трех зон: *зоны зарождения трещины* (в местах концентрации напряжений или на дефектах), *зоны собственно усталостного распространения трещины* (с характерными концентрическими бороздками или дугами и мелкозернистым, фарфоровидным изломом) и *зоны долома* с грубым кристаллическим строением.



**Рис. 1.1.** Схема усталостного излома вала:

- 1 - зона зарождения трещины; 2 – зона усталостного развития трещины;  
3 – зона долома

*Различие по цвету* является одним из характерных признаков изломов, связанных со структурой, условиями испытания и, главным образом, легированностью стали. Углеродистые стали имеют серебристый цвет излома, никелевые стали – специфический светло-желтый, хромистые стали – светло-серый. *Черный излом* свидетельствует о наличии в структуре свободного графита.



Темный цвет имеют изломы серых чугунов. *Черный излом* встречается и в высокоуглеродистой стали при наличии кремния и вольфрама, если после отжига происходит неравномерное выделение графита по сечению отливок в виде точек.

### 1.3.2. Микроскопический анализ (микроанализ)

**Микроскопический анализ (микроанализ)** металлов и сплавов заключается в исследовании строения (структуры) металла с помощью оптического или электронного микроскопа при увеличении от 50 раз и выше. Строение металлов и сплавов, наблюдаемое с помощью микроскопа, называется **микроструктурой**. Микроанализ позволяет установить связь химического состава, условий производства и обработки сплава с его микроструктурой и свойствами.

**При помощи микроанализа определяют:**

- 1) форму и размер кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- 2) изменение внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных тепловых и механических видов воздействий, сопровождающих процессы обработки металлов и сплавов при термической обработке, химико-термической обработке, сварке, обработке давлением и т.д.;
- 3) микродефекты металла - микротрещины, раковины и т.п.;
- 4) неметаллические включения – сульфиды, оксиды и др.;
- 5) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами; в некоторых случаях приблизительно определяют химический состав изучаемого сплава.

Микроанализу подвергают специально подготовленные образцы, называемые **микрошлифами**. Площадь поверхности микрошлифов обычно составляет 1-4 см<sup>2</sup>. Высота образца определяется удобством манипулирования при шлифовании и полировании и обычно составляет 10-15 мм. Образцы малых размеров (лента, проволока) или сложной конфигурации для изготовления шлифов помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы, или зажимают в специальные струбцины.

**Процесс изготовления микрошлифов** обычно включает следующие операции:

- 1) вырезку образцов и подготовку поверхности;
- 2) шлифование;
- 3) полирование;
- 4) травление.

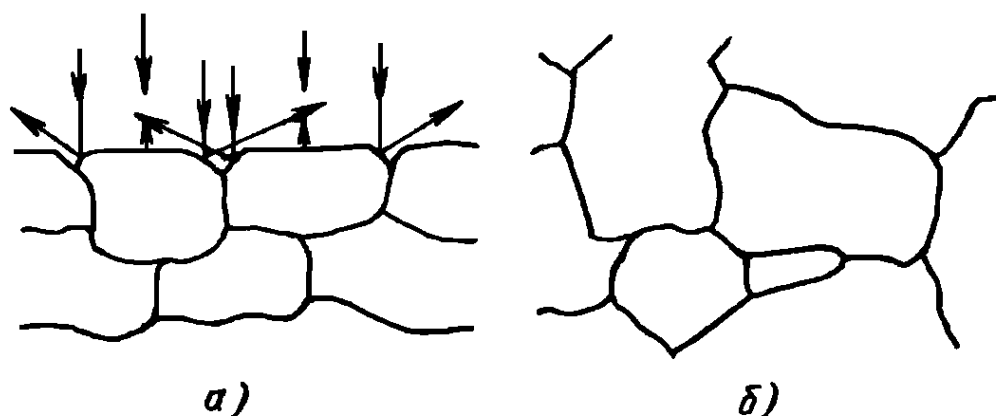
**Вырезку образцов** проводят, соблюдая определенные меры предосторожности, чтобы не вызвать изменения структуры из-за наклепа или нагрева. Наиболее часто для вырезки образцов в металлографических лабораториях используют отрезные станки с абразивными кругами.

**Шлифование** проводят, используя шлифовальную бумагу нескольких номеров с последовательно уменьшающейся зернистостью.

**Полирование** служит для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа. Применяют механический, электрохимический и химико-механический методы полирования.

После полирования, независимо от способа его выполнения, микрошлиф промывают водой, затем, если сплавы окисляются, спиртом и просушивают фильтровальной бумагой. На нетравленном шлифе можно обнаружить микродефекты типа неметаллических включений (оксиды, сульфиды, силикаты, графитовые включения в чугунах и т.п.)

Для микроанализа микрошлифы подвергают **травлению** реактивами, различающимися по своему воздействию на поверхность металла. Реактивы - растворы кислот, солей и щелочей – вызывают избирательное растворение металлических или других фаз, а также их пограничных участков вследствие различия физико-химических свойств. В результате на поверхности микрошлифа образуется рельеф и при наблюдении под микроскопом более сильно растворившиеся участки из-за тени или более низкого коэффициента отражения (из-за растравленной, шероховатой поверхности) представляются более темными, а нерастворившиеся - более светлыми (рис.1.2). Границы зерен чистых металлов и твердых растворов будут видны под микроскопом в виде тонкой сетки. Часто зерна одного и того же металла или однофазного сплава травятся по-разному. Это объясняется тем, что в плоскости шлифа находятся зерна с различной кристаллографической ориентацией, и, следовательно, обладающие и неодинаковой химической активностью (травимостью).



**Рис. 1.2.** Схема, поясняющая видимость границ зерен под микроскопом (а) и микроструктура металла с ясным очертанием границ зерен (б)

Рассмотрим устройство металлографического микроскопа и правила работы с ним.

По расположению основных узлов различают вертикальные (МИМ-7, ММР-2Р, ММР-4, ММУ-3) и горизонтальные (МИМ-8, МИМ-9, Неофот-21) металлографические микроскопы. Наиболее широко в металлографических лабораториях применяют микроскоп МИМ-7 (рис. 1.3). На этом микроскопе можно изучать микроструктуру визуально при увеличении от 60 до 1440-кратного и фотографировать при увеличении от 70 до 1350-кратного. МИМ-7 состоит из следующих основных систем: оптической, осветительной с фотографической аппаратурой и механической.

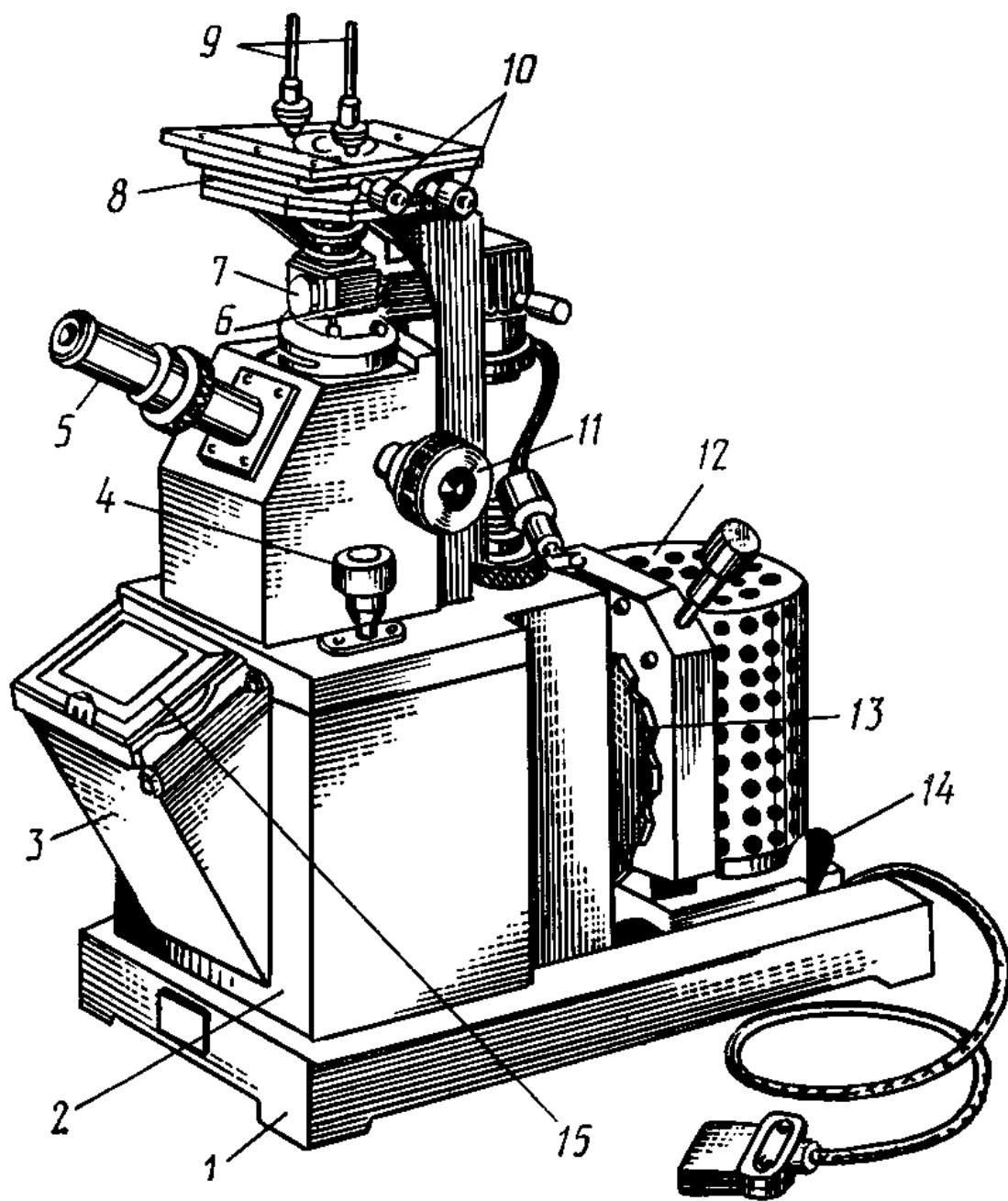
**Оптическая система** микроскопа включает объектив и окуляр, от которых зависит увеличение микроскопа и ряд вспомогательных элементов (призмы, зеркала, линзы и др.) Объектив, представляющий собой сложное сочетание линз, дает действительное увеличенное обратное изображение микроструктуры шлифа. Окуляр состоит из нескольких линз и предназначен для увеличения изображения, полученного объективом, и преобразования его из обратного в прямое.

В **осветительную систему** микроскопа входят источник света, серия линз, светофильтров и диафрагм. Источником света является электрическая лампа (рис. 1.4), включаемая в сеть через понижающий трансформатор. Ступенчатое регулирование напряжения в трансформаторе позволяет изменять яркость освещения микрошлифа.

Световые лучи от лампы 1 проходят через коллектор 2 и, отражаясь от зеркала 3, попадают на светофильтр 4 (обычно желтый для получения изображения с резкими контурами), затем на апертурную диафрагму 5 (для ограничения световых пучков и получения высокой четкости изображения), линзу 6, фотозатвор 7, полевую диафрагму 8 (для ограничения освещенного поля рассматриваемого участка на микрошлифе), преломляются пентапризмой 8, проходят через линзу 10, попадают на плоскопараллельную отражательную пластинку 11, направляются в объектив 12 и на микрошлиф 13, установленный на предметном столике. Отразившись от микрошлифа 13, лучи вновь проходят через объектив 12 и, выходя из него параллельным пучком, попадают на отражательную пластинку 11 и ахроматическую линзу 14.

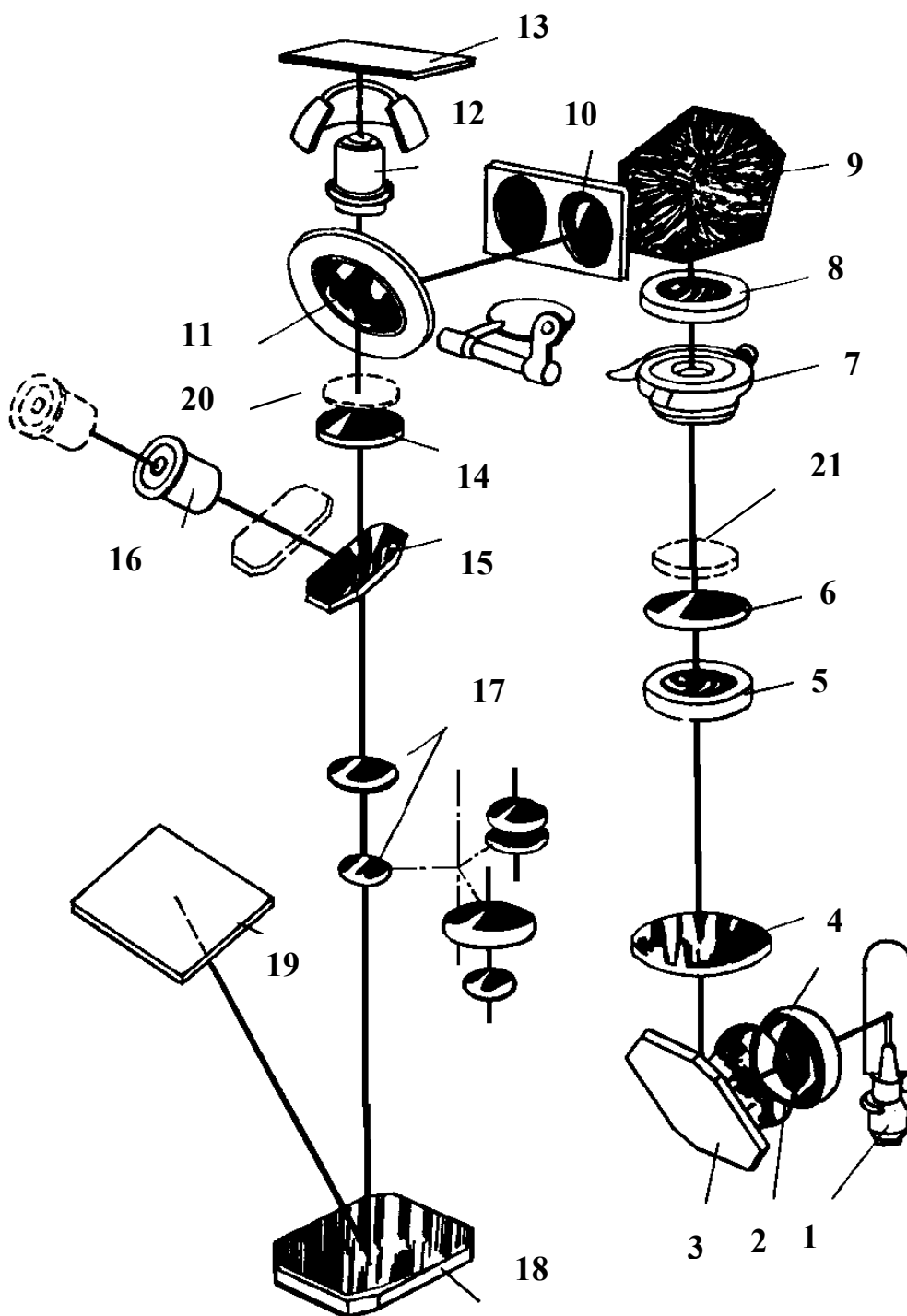
При визуальном наблюдении в ход лучей вводится зеркало 15, которое отклоняет лучи в сторону окуляра 16. При фотографировании зеркало 15 выключается выдвиганием тубуса вместе с окуляром и зеркалом и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 17, проходят через него на зеркало 18, от которого отражаются и попадают на матовое стекло 19, где и дают изображение. Для фиксации микроструктуры матовое стекло 19 заменяется кассетой с фотопластинкой.

Для наблюдения в поляризованном свете в систему включают вкладной анализатор 20 и поляризатор 21.



**Рис. 1.3.** Общий вид микроскопа МИМ-7:

- 1 – основание; 2 – корпус; 3 – фотокамера; 4 – микрометрический винт;  
 5 – визуальный тубус с окуляром; 6 – рукоятка иллюминатора;  
 7 – иллюминатор; 8 – предметный столик; 9 – клеммы;  
 10 – винты перемещения столика; 11 – макрометрический винт;  
 12 – осветитель; 13 – рукоятка светофильтров; 14 – стопорное устройство  
 осветителя; 15 – рамка с матовым стеклом



**Рис. 1.4.** Оптическая система микроскопа МИМ-7:

- 1 – электрическая лампа; 2 – коллектор; 3 – зеркала; 4 - светофильтр;  
 5 - апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – фотозатвор; 8 – полевая диафрагма;  
 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка; 12 – объектив;  
 13 – микрошлиф; 14 – ахроматическая линза; 15 – зеркало; 16 – окуляр;  
 17 – фотоокуляр; 18 – зеркало; 19 – матовое стекло; 20 – вкладной анализатор;  
 21 - поляризатор

**Общее увеличение микроскопа** при визуальном рассмотрении равно произведению увеличений объектива и окуляра:

$$N_M = N_{об} \cdot N_{ок} = \frac{250 l}{F_{об} \cdot F_{ок}},$$

где  $N_{об}$ ,  $N_{ок}$  - соответственно увеличение объектива и окуляра;

$l$  - оптическая длина визуального тубуса, м;

$F_{об}$ ,  $F_{ок}$  - фокусные расстояния объектива и окуляра.

В комплекте МИМ-7 имеется пять сменных объективов и четыре сменных окуляра. Подбирая соответствующую оптику, можно получить увеличение в пределах от 60 до 1440-кратного. В табл. 1.2. приводятся характеристики объективов и окуляров микроскопа МИМ-7 и создаваемые им увеличения.

Таблица 1.2

**Увеличение микроскопа МИМ-7**

Характеристики объективов		Увеличение						
		при визуальном наблюдении				при фотографировании		
F, мм	A	7*	10*	15*	20*	7*	10*	15*
23,17	0,17	60	90	130	170	70	120	160
13,89	0,30	100	140	200	300	115	200	270
8,16	0,37	170	240	360	500	200	340	450
6,16	0,65	-	320	500	650	-	440	600
2,77	1,25	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Работу на микроскопе рекомендуется проводить следующим образом.

1. Поместить исследуемый шлиф полированной и протравленной поверхностью вниз на подкладку предметного столика над объективом. Шлиф обязательно должен быть тщательно высушен, так как оставшийся на шлифе травитель или влага могут испортить объектив.

2. Включить микроскоп в электросеть, устанавливая при этом необходимый накал лампы освещения.

3. Наблюдая в окуляр, вращением макровинта 11 произвести грубую настройку на фокус. Приближение поверхности микрошлифа к фокальной плоскости характеризуется значительным ростом освещенности поля зрения и появлением изображения микроструктуры.

4. Винтом закрепить предметный столик в установленном положении.

5. Наблюдая в окуляр, вращением микровинта 4 произвести точную наводку на фокус.

6. Наблюдая в окуляр, при помощи винтов 10 передвигать предметный столик и просматривать структуру в разных местах шлифа. Водить шлифом по подкладке предметного столика нельзя.

Известно, что размеры зерен, величина включений и других микродефектов оказывают большое влияние на свойства сплавов. Поэтому в практике часто возникает задача определения размеров этих элементов структуры. Она решается с помощью методов количественной металлографии. Измерить размер какого-либо микроскопического объекта, например зерна металла, можно с помощью окуляра-микрометра, то есть окуляра, в который вставлена пластина с линейкой.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с сущностью макроанализа, его разновидностями, методикой выполнения и применением.

2. Изучить макрошлиф литой, сварной, механически обработанной, термически обработанной детали (соединения) по заданию преподавателя.

3. Исследовать изломы образцов и описать их (по заданию преподавателя) с указанием характера разрушения, структуры изломов и описания дефектов, видимых в изломе.

4. Изучить устройство металлографического микроскопа МИМ-7, усвоить приемы работы на нем и начертить оптическую схему микроскопа.

5. Освоить технику изготовления микрошлифов и изготовить или получить готовый набор исследуемых микрошлифов.

6. Провести макроанализ заданных сплавов. Зарисовать и охарактеризовать их микроструктуры и фазовый состав.

7. Составить отчет по работе.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы.

2. Указать назначение макроанализа.

3. Дать определения терминам «микроструктура», «макрошлиф», «излом».

4. Указать, для чего проводят изучение поверхностных и внутренних дефектов.

5. Дать определение изломов, указать виды изломов.

6. Зарисовать дефекты сварных швов – табл. 1.1.

7. Дать определения понятиям: «макроанализ», «микроструктура», «микрошлиф».

8. Зафиксировать письменно цель макроанализа, порядок приготовления и изучения микрошлифов.

9. Зарисовать оптическую схему микроскопа (рис. 1.3) и таблицу увеличений микроскопа (табл. 1.2).

10. Записать формулу для определения увеличения микроскопа.

11. Практическая часть. На заданных образцах зарисовать микроструктуры сталей и чугунов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется макроструктурой?
2. Какими способами изучают макроструктуру?
3. Для каких целей используется макроанализ?
4. Каков порядок проведения макроанализа?
5. Как подготавливают образцы для макроанализа?
6. Какие признаки макроструктуры позволяют определить способ производства и качество изделий?
7. Какие дефекты можно определять по макрошлифам?
8. Какие виды изломов Вы знаете?
9. Какой вид разрушения – вязкое или хрупкое – Вы считаете наиболее опасным и почему?
10. Назовите разновидности вязкого и хрупкого изломов.
11. Что такое микроанализ и микроструктура? Что можно изучать методами микроанализа?
12. Как изготавливаются микрошлифы?
13. Для чего используют травление микрошлифов?
14. Как изучают микрошлифы?
15. Каким методом выявляется микроструктура?
16. Какие элементы определяют увеличение микроскопа? Как можно изменять и регулировать (подбирать) увеличение микроскопа?

### **Литература**

[1, с. 3-10], [2, с. 5-12], [3, с. 4-22], [4, с. 12-21].



## Лабораторная работа № 2

# ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД (ЦЕМЕНТИТ)»

### 2.1. Цели работы

Изучение микроструктуры и свойств сплавов в соответствии с диаграммой Fe-C ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), в том числе: изучение микроструктуры сплавов с различным содержанием углерода в равновесном состоянии; установление взаимосвязи структуры и свойств сталей с диаграммой Fe-C ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ); изучение фазовых и структурных превращений при нагреве и охлаждении сплавов в соответствии с диаграммой Fe-C ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

### 2.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов сталей и чугунов.

### 2.3. Теоретические сведения

Диаграмма состояния «железо-углерод (цементит)» (рис. 2.1) является основой представления о строении наиболее распространенных в технике железоуглеродистых сплавов. Диаграмма строится в координатах «температура – массовая доля углерода (цементита)».

#### 3.3.1. Компоненты, фазы и структурные составляющие диаграммы «железо-углерод (цементит)»

**Компонентами** называют вещества, образующие систему. В данном случае это **железо (Fe)** и **углерод (C)** или **цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )**.

**Фазой** называется однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства и структура меняются скачком. В системе Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  - **4 фазы**. Это – **жидкий расплав** (на диаграмме располагается выше линии **ликвидуса ABCD**); **цементит** (вертикаль **DFKL**); **феррит** и **аустенит** – области, примыкающие к вертикали железа.

**Структура** – это форма, размеры и взаимное расположение фаз в системе.

Твердые фазы – феррит, аустенит, цементит – могут встречаться в сплавах в структурно-свободном виде или входить в состав двухфазных структурных составляющих – **ледебурита** и **перлита**

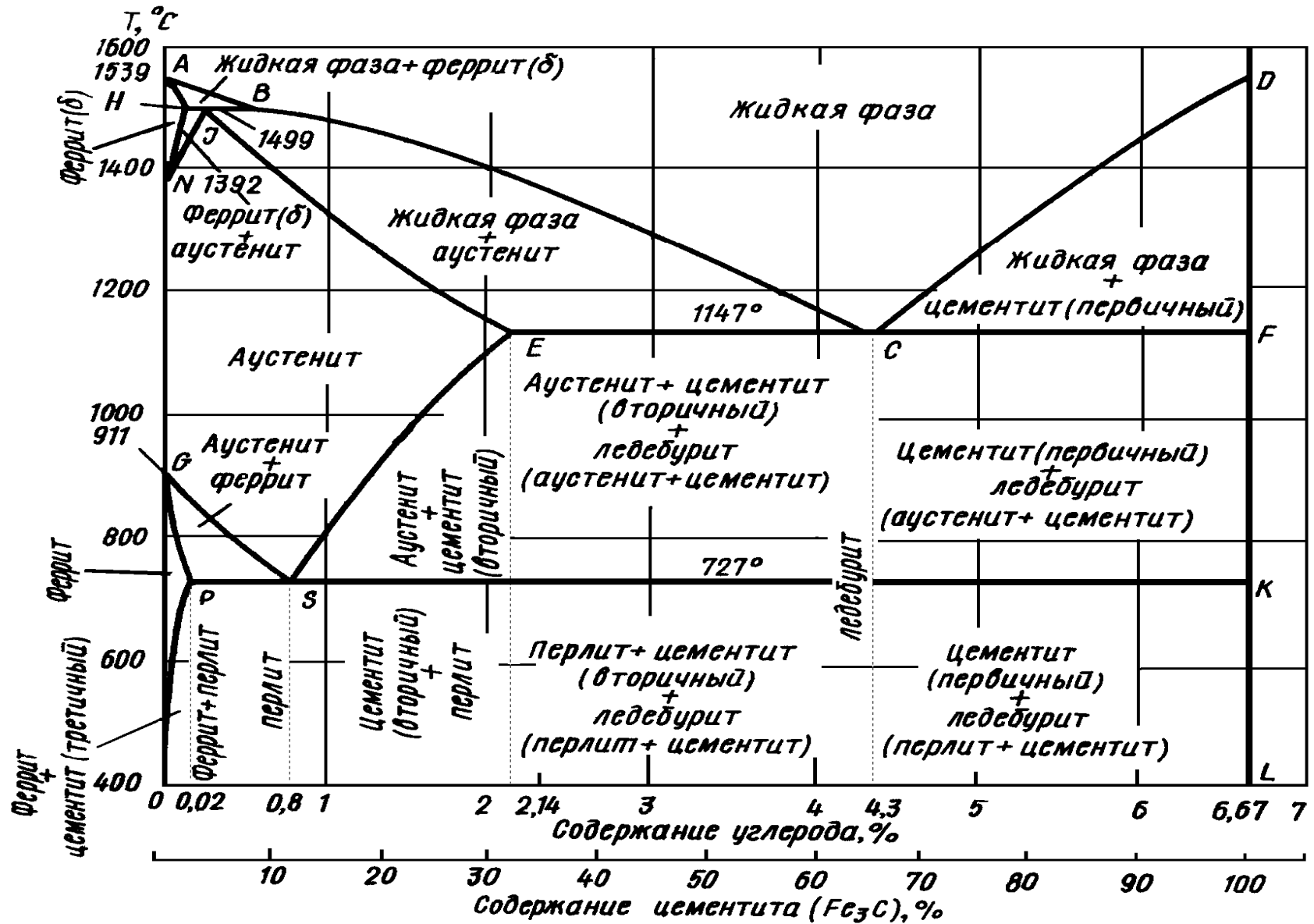


Рис. 2.1. Диаграмма состояния железо-углерод (цементит)

Температура плавления **железа** 1539 °С. Железо известно в двух полиморфных модификациях  $\alpha$  и  $\gamma$ .  $\alpha$  - **железо** существует при температурах ниже 910 °С и выше 1392 °С. Для интервала температур 1392-1539 °С  $\alpha$ -железо нередко обозначают как  $\delta$ -железо.

Кристаллическая решетка  $\alpha$ -железа – объемно-центрированная кубическая. До температуры 768 °С  $\alpha$ -железо ферромагнитно. Критическую точку (768 °С), соответствующую переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри и обозначают  $A_2$ .

Кристаллическая решетка  $\gamma$ -**железа** – гранецентрированная кубическая. С металлами железо может образовывать твердые растворы замещения и химические соединения (интерметаллиды), а с углеродом, азотом и водородом - твердые растворы внедрения (атомы примеси располагаются в порах кристаллической решетки железа) и химические соединения: карбиды, нитриды, гидриды.

**Углерод** – неметаллический элемент с плотностью 2,25 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 3500 °С. В сплавах с железом углерод обычно бывает в форме графита с гексагональной слоистой атомной решеткой. Прочность графита низка. Железо с углеродом образует ряд соединений, наиболее часто встречается цементит.

**Цементит** – химическое соединение железа с углеродом Fe<sub>3</sub>C – карбид железа, с содержанием углерода 6,67% и сложной кристаллической решеткой. Сложная кристаллическая структура обуславливает высокую твердость цементита (> 800 НВ) и почти нулевую пластичность. Температура плавления цементита точно не определена в связи с возможностью его распада и принимается примерно равной 1260 °С. Цементит неустойчив и с повышением температуры может распадаться на железо и графит.

**Феррит (Ф)** – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Различают *низкотемпературный  $\alpha$ -феррит* с растворимостью углерода до 0,02 % при температуре  $T = 727$  °С и 0,006 % при комнатной температуре и *высокотемпературный  $\delta$ -феррит* с предельной растворимостью углерода 0,1% при температуре  $T = 1499$  °С. Атом углерода располагается в решетке феррита в центре грани куба, а также в вакансиях, на дислокациях и т.д.

**Аустенит (А)** – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. Предельная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе – 2,14 % при  $T = 1147$  °С. Атом углерода в решетке  $\gamma$ -железа располагается в центре элементарной ячейки и в дефектных областях кристалла.

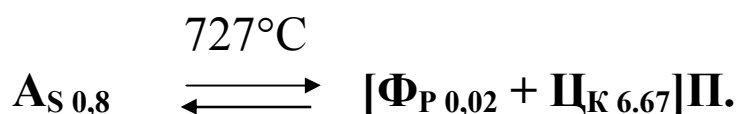
Различные объемы пустот в ОЦК и ГЦК решетках и предопределили значительно большую растворимость углерода в  $\gamma$ -железе по сравнению с  $\alpha$ -железом.

**Ледебурит** – эвтектическая механическая смесь, состоящая из аустенита и цементита, образуется из жидкого расплава с концентрацией углерода 4,3 % (точка С) при температуре 1147 °С.

В системе «железо-цементит» ледебурит (эвтектика) образуется из жидкости во всех сплавах, содержащих не менее 2,14 %С. **Ледебурит** образуется по **эвтектической реакции**:



**Перлит** – эвтектоидная механическая смесь, состоящая из феррита и цементита, образуется из аустенита с концентрацией углерода 0,8 % (точка S) при температуре 727 °С. Перлит образуется во всех сплавах, содержащих более 0,02 % С. **Перлит** образуется по **эвтектоидной реакции**:



При охлаждении ледебурита до температур ниже линии SK входящий в него аустенит превращается в перлит, и при комнатной температуре ледебурит представляет смесь цементита и перлита.

#### **Формы существования цементита:**

**Третичный цементит** выделяется из феррита при концентрации углерода больше 0,006 % по линии PQ. Растворимость углерода в феррите с понижением температуры от 0,02 % при 727 °С до 0,006 % при 20 °С уменьшается, выделяющийся из феррита избыточный углерод образует третичный цементит. Форма: пластинки и прожилки, а также выделения в виде иголок в ферритном зерне.

**Цементит перлита.** Образуется при концентрации углерода больше 0,02 %. Обычно - тонкопластинчатый продукт перлитного превращения.

**Вторичный цементит** образуется из аустенита по линии SE. Линия SE показывает уменьшение растворимости углерода в аустените от 2,14 % при 1147 °С до 0,8 % при 727 °С. С понижением температуры от 1147 °С до 727 °С из аустенита выделяется избыточный углерод, образуя вторичный цементит. Форма: цементитная сетка по границам зерен.

**Цементит ледебурита.** Образуется при концентрации углерода больше 2,14 % С. Создает светлый фон в плоскости шлифа.

**Первичный цементит** образуется при кристаллизации в сплавах с концентрацией углерода больше 4,3 %. Форма: длинные крупные пластины.

Характеристика структурных составляющих сплавов системы железо-цементит представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Характеристика и схематическое изображение структурных составляющих сплавов системы «железо-цементит»**

Сплавы системы железо-цементит	Схематическое изображение	Описание структурных особенностей	Содержание углерода, %	Механические свойства составляющих
Техническое железо		Однородные светлые зерна феррита, отделенные друг от друга границами, на которых может выделяться цементит третичный. Ф + Ц <sub>III</sub>	0 – 0,02	Феррит: ≈ 80-100 НВ σ <sub>в</sub> ≈ 250 МПа δ ≈ 50 %; ψ ≈ 85 %
Доэвтектоидная сталь		Светлые зерна феррита и темные зерна перлита. Ф + П	0,02 – 0,8	100 – 160 НВ в зависимости от содержания углерода
Эвтектоидная сталь		Твердые, малотравящиеся пластины цементита, светлые и блестящие, выступают над ферритом. Утопающий между ними мягкий феррит затенен; из-за повышенной травимости тусклый и темный. Перлит . П.	0,8	Перлит: ≈ 200-250 НВ для стали У8
Заэвтектоидная сталь		Светлая сетка цементита вторичного по границам темных перлитных зерен. П + Ц <sub>II</sub>	0,8 – 2,14	Цементит ≈ 800 НВ Перлит 200-250 НВ

Окончание табл. 2.1

Сплавы системы железо-цементит	Схематическое изображение	Описание структурных особенностей	Содержание углерода, %	Механические свойства
Аустенитная сталь		Светлые зерна однофазной структуры аустенита с часто встречающимися двойниками. При комнатной температуре может встречаться только в легированных сталях. А	0 – 2,14	Аустенит ≈170-200 НВ
Доэвтектический белый чугун		Крупные кристаллы аустенита первичного и ледебуритная эвтектика. Форма кристаллов аустенита определяется условиями кристаллизации, а сам аустенит превратился в перлит. П + Л	2,14 – 4,3	Перлит 200-250 НВ Ледебурит ≈ 700 НВ
Эвтектический белый чугун		На светлом фоне цементита (границы его зерен не протравливаются) мелкие дендриты аустенита и сечения его ветвей плоскостью шлифа. Аустенит превратился в перлит. Перлитные зерна темного цвета. Л	4,3	Ледебурит ≈ 700 НВ
Заэвтектический белый чугун		Грубые иглы цементита первичного и светлый фон ледебурита в заэвтектическом белом чугуне. Л + Ц <sub>I</sub>	4,3 – 6,67	Цементит ≈ 800 НВ Перлит 200-250 НВ Ледебурит ≈ 700 НВ

**По содержанию углерода** при комнатной температуре все **железоуглеродистые сплавы** подразделяются:

- **на технически чистое железо** (содержание углерода от 0 до 0,006 %) – структура *феррит*;
- **техническое железо** (содержание углерода от 0,006 % до 0,02 %)- структура *феррит и цементит третичный*;
- **дозвтектоидные стали** (содержание С от 0,02 до 0,8 %) – структура *феррит и перлит*;
- **эвтектоидные стали** (содержание С = 0,8 %) – структура *перлит*;
- **заэвтектоидные стали** (содержание С от 0,8 до 2,14 %) – структура *перлит и цементит вторичный*;
- **дозвтектические белые чугуны** (содержание С от 2,14 до 4,3 %) – структура *перлит, ледебурит и цементит вторичный*;
- **эвтектические белые чугуны** (содержание С = 4,3 %) – структура – *ледебурит*;
- **заэвтектические белые чугуны** (содержание С от 4,3 до 6,67 %) – структура *ледебурит и цементит первичный*.

#### **2.4. Порядок выполнения работы**

1. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры углеродистых сталей и белых чугунов с различным содержанием углерода.
2. На каждом из рисунков указать фазовые и структурные составляющие, дать их краткую характеристику.
3. Вычертить диаграмму «железо-цементит» (см. рис. 2.1) с указанием всех фазовых и структурных областей. Отметить на ней вертикалями положение рассматриваемых сплавов с разным содержанием углерода. Для одного из сплавов описать превращения при охлаждении (нагреве) по заданию преподавателя. Указать характер протекающих превращений.

#### **2.5. Содержание отчета**

1. Название, цель работы.
2. Дать определение компонентов, фаз и структур системы железо-цементит: железо, феррит, аустенит, цементит, ледебурит (эвтектика), перлит (эвтектоид).
3. Привести классификацию железоуглеродистых сплавов в зависимости от содержания углерода.
4. Записать и объяснить реакции образования фаз и структурных составляющих в железоуглеродистых сплавах согласно их диаграмме.
5. Зарисовать диаграмму «железо-цементит», указать все составляющие.
6. Зарисовать схемы основных структур.

7. Построить и проанализировать кривую охлаждения для сплава с определенным содержанием углерода по заданию преподавателя.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите и охарактеризуйте компоненты системы Fe-Fe<sub>3</sub>C.
2. Назовите и охарактеризуйте фазы системы Fe-Fe<sub>3</sub>C.
3. Назовите структурные составляющие, условия их образования и охарактеризуйте расположение на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C.
4. В чем отличие эвтектической реакции от эвтектоидной?
5. Как классифицируются стали и чугуны в зависимости от содержания углерода?
6. Какую структуру имеют и как называются сплавы, содержащие 0,04 %; 0,2 %; 0,45 %; 0,80 %; 1,3 %; 2 %; 3 %; 4,3 %; 4,8 % C? Назовите структурные составляющие в этих сплавах при комнатной температуре и при 950 °C.
7. Опишите превращения при нагреве (охлаждении) доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали.
8. Опишите превращения при нагреве (охлаждении) в белых чугунах с различным содержанием углерода.
9. Определите тип железоуглеродистого сплава по микроструктуре образца, укажите положение сплава на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C.

### **Литература**

[2, с. 42-58], [5, с. 63-78], [6, с. 116-128], [7, с. 159-179]



# Лабораторная работа № 3

## КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

### 3.1. Цель работы

Изучение микроструктуры железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии, определение марок сталей и чугунов, установление связи между структурой, диаграммой состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C и свойствами сплавов.

### 3.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов сталей и чугунов.

### 3.3. Классификация сталей

**Сталью** называется сплав железа с углеродом, примесями и легирующими элементами с содержанием углерода до 2,14 %. Стали принято классифицировать по химическому составу, назначению, структуре, качеству, степени раскисления. Классификация сталей по назначению представлена на рис. 3.1.

**По структуре** стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

**По назначению** стали делятся на *конструкционные* (машиностроительные, предназначенные для изготовления деталей машин и механизмов, и строительные, используемые для металлоконструкций и сооружений), *инструментальные, специального назначения* (жаростойкие, жаропрочные, коррозионно-стойкие, криогенные, износостойкие и т.д.).

**По химическому составу** стали классифицируют на углеродистые и легированные. В зависимости от содержания углерода те и другие могут быть низкоуглеродистыми (до 0,25 %C), среднеуглеродистыми (0,3 – 0,6 %C) и высокоуглеродистыми (более 0,7 %C). Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые и многие другие. По количеству введенных элементов их подразделяют на низко-, средне- и высоколегированные. В низколегированных сталях количество легирующих элементов не превышает 5 %, в среднелегированных содержится от 5 до 10 %, в высоколегированных – более 10 %.

**По качеству стали** классифицируют на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные в зависимости от содержания в них примесей. Под качеством понимают совокупность свойств стали, зависящих от способа ее производства, который определяет количество и

размеры примесей, включений, газов. Основным критерием качества стали является содержание в ней серы и фосфора (табл. 3.1).

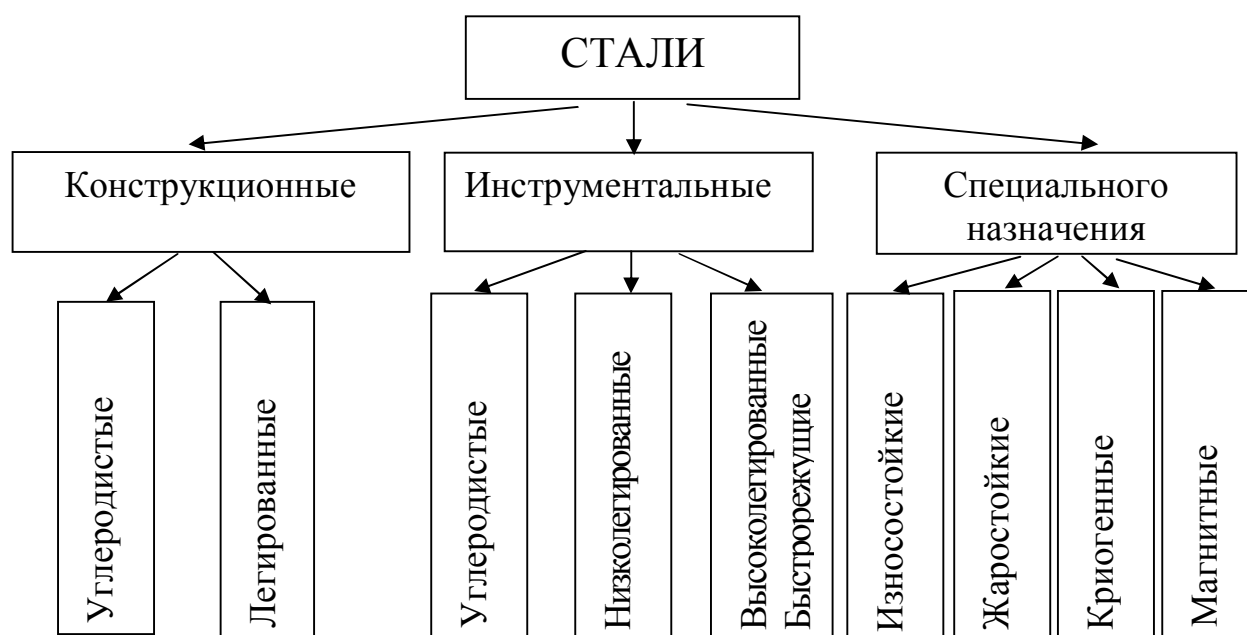
Таблица 3.1

**Категории сталей по качеству ГОСТ 380-94, ГОСТ 4543-71**

Стали	Обозначение в марке	Содержание, % не более	
		S	P
Обыкновенного качества	Ст	0,05	0,04
Качественные	-	0,035	0,035
Высококачественные	А в конце марки	0,025	0,025
Особовысококачественные	Ш в конце марки	0,015	0,025

*Сера* – вредная примесь, вызывающая красноломкость стали – хрупкость при горячей обработке давлением. Красноломкость связана с наличием сульфидов FeS, которые образуют с железом эвтектику, отличающуюся низкой температурой плавления (988 °С) и располагающуюся по границам зерен. При горячей деформации границы зерен оплавляются, и сталь хрупко разрушается.

*Фосфор* – вредная примесь. Он растворяется в феррите, упрочняет его, но вызывает хладноломкость – снижение вязкости по мере понижения температуры. Сильное охрупчивающее действие фосфора выражается в повышении порога хладноломкости. Каждая 0,01 % P повышает порог хладноломкости на 25 °С. Хрупкость стали, вызываемая фосфором, тем выше, чем больше в ней углерода.



**Рис. 3.1.** Классификация сталей

**По степени раскисления** и условиям выплавки различают стали *спокойные* (раскисленные наиболее полно алюминием, кремнием, марганцем – обозначаются «сп»), *полуспокойные* (раскислены марганцем и кремнием, обозначаются «пс») и *кипящие* (раскислены только марганцем, обозначаются «кп»). Если раскисленный металл при разливке и кристаллизации не кипит, из него не выделяются газы, его называют *спокойным*. В том случае, когда проводят неполное раскисление металла, то в нем остается значительная доля избыточного кислорода, и при охлаждении во время разливки и после нее до кристаллизации протекает взаимодействие между растворенными углеродом и кислородом по схеме:  $[C] + [O] = \{CO\}$ . Пузыри монооксида углерода, выделяющиеся из металла, перемешивают его. Поверхность металла становится похожей на поверхность кипящей жидкости. Такую сталь называют *кипящей*.

Если при раскислении из металла удаляют значительную часть избыточного кислорода, то оставшийся кислород вызывает непродолжительное *кипение* стали. Такую сталь называют *полуспокойной*.

Классификация конструкционной стали представлена на рис. 3.2.



**Рис. 3.2.** Классификация конструкционной стали

**Углеродистую конструкционную сталь обыкновенного качества** по ГОСТ 380-94 [8] изготавливают 20 марок химического состава, приведенного в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Содержание элементов в углеродистых сталях обыкновенного качества,  
по ГОСТ 380-94, %**

Марка стали	С	Mn	Si в стали			S	P
			кп	пс	сп		
Ст0	≤ 0,23	-	-	-	-	0,06	0,07
Ст1	0,06-0,12	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст2	0,09-0,15	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст3	0,14-0,22	0,3-0,65	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст4	0,18-0,27	0,4-0,7	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст5	0,28-0,37	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст6	0,38-0,49	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст3Г	0,14-0,22	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04
Ст5Г	0,28-0,37	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04

Стали маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Степень раскисления обозначают добавлением в спокойных сталях букв «сп», в полуспокойных – «пс», в кипящих – «кп». Например, Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп. Спокойными и полуспокойными производят стали Ст1-Ст6, кипящими – Ст1-Ст4. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Три марки стали производят с повышенным (0,80 – 1,1 %) содержанием марганца, на что указывает буква «Г» в марке: Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст5Гпс.

Стали обыкновенного качества поставляют горячекатаными в виде листового, сортового, фасонного проката: прутков, листов, уголков, швеллеров, труб и т.п. Механические свойства горячекатаных сталей регламентирует ГОСТ 535-88 [9].

Прокат подразделяют на три группы (I – III) и шесть категорий (1 – 6). Группа проката оценивает качество поверхности и способ использования проката. Прокат I группы используют без обработки поверхности, II группы – для изготовления деталей обработкой резанием, III группы – для заготовок и деталей, получаемых горячей обработкой давлением. Листовые стали категории «1-5» поставляют в горячекатаном состоянии, а категории «6» - в упрочненном.

Структура стали обыкновенного качества – феррит + перлит. Чем выше условный номер в марке (Ст0 – Ст6), тем больше в ней углерода и, следовательно, перлита, тем выше ее прочность, но ниже пластичность. Пример условного обозначения проката из стали обыкновенного качества:

$$\text{Круг } \frac{30 - B \text{ ГОСТ} 2590 - 88}{\text{Ст}5\text{пс}1 - II \text{ ГОСТ} 535 - 88},$$

что обозначает: «прокат горячекатаный круглый диаметром 30 мм, обычной точности прокатки «В» по ГОСТ 2590-88 марки Ст5пс, категории 1, группы II, для холодной механической обработки резанием.

Категории проката (определяет заказчик) различаются набором нормируемых показателей механических свойств (табл. 3.3). По требованию потребителя обеспечивается свариваемость стали, а для обеспечения требуемых свойств может применяться термическая обработка.

Таблица 3.3

**Категории и соответствующие им нормируемые характеристики углеродистых сталей обыкновенного качества (ГОСТ 535-88 для сталей категории 1-5)**

Категория	Химический состав	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Ударная вязкость			Марка стали
						При температуре, °С		После механического старения	
						+20	-20		
1	+	+	+	+	+	-	-	-	Ст0, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст6пс, Ст6сп
2	+	+	+	+	+	-	-	-	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст6пс, Ст6сп
3	+	+	+	+	+	+	-	-	Ст3пс, Ст3сп, Ст4пс, Ст4сп,
4	+	+	+	+	+	+	+	-	Ст3пс, Ст3сп
5	+	+	+	+	+	+	+	+	Ст3пс, Ст3сп
6	+	+	+	+	+	-	-	+	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс

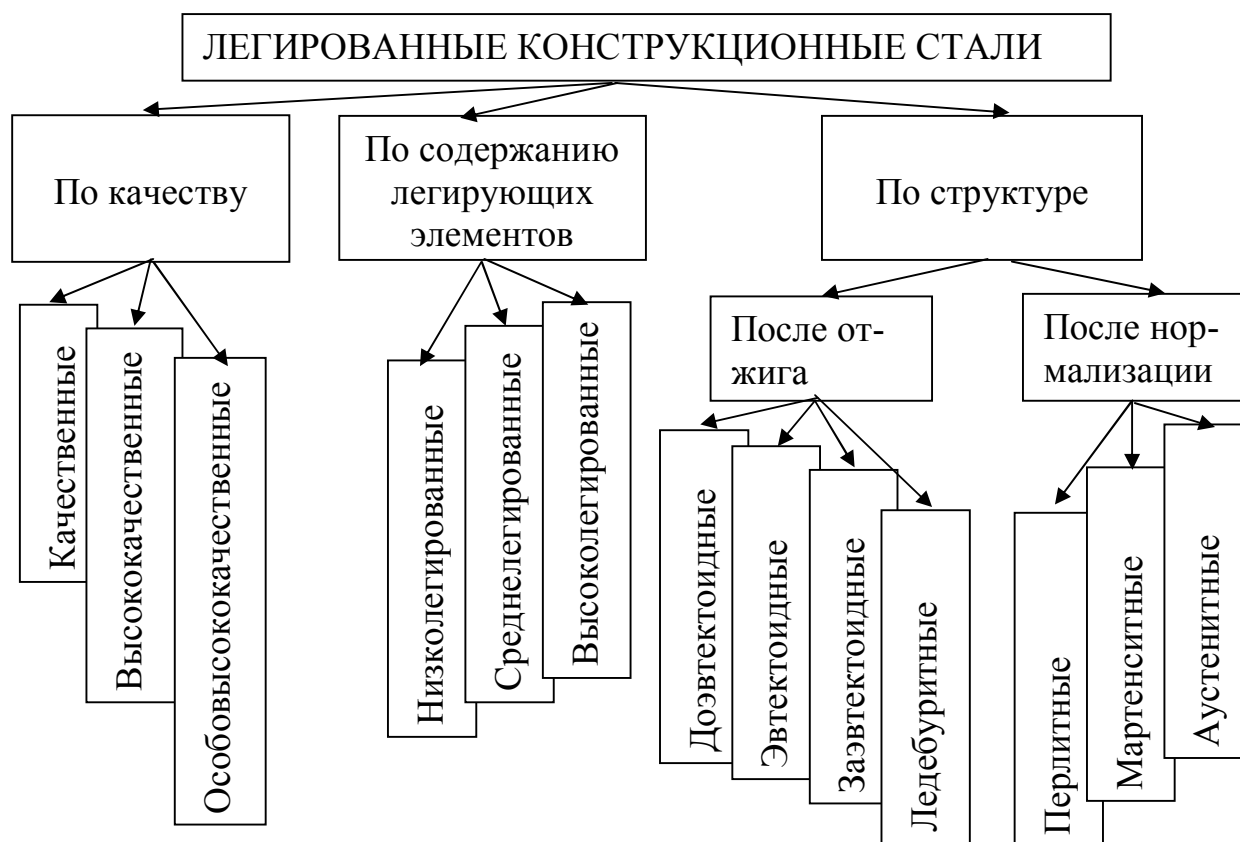
Примечания:

1. Знак «+» означает, что показатель нормируется.
2. Для стали марки Ст0 нормируется предел текучести и изгиб, для стали марок Ст6пс и Ст6сп изгиб не нормируется.

**Качественные углеродистые конструкционные стали.** Эти стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества, содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Их поставляют в виде проката, поковок и других полуфабрикатов с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. **Маркируют их двузначными числами: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 и 60, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-88 [10]).** Например: сталь 10 содержит в среднем 0,1 % С, сталь 45 – 0,45 % С и т.д.

Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие с индексами соответственно «пс» и «кп». Структура этих сталей – феррит и перлит.

**Легированные конструкционные стали и стали специального назначения** маркируют цифрами и буквами (ГОСТ 4543-71 [11]). Первые цифры в марке стали указывают содержание углерода в **сотых долях процента**, буквы русского алфавита обозначают легирующий элемент (табл. 3.4 и прил.). Цифры после буквы указывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента **в целых процентах**; отсутствие цифры указывает, что оно составляет до 1 % и менее (20X13 – 0,2 % С, 13 % Cr; 12ХН – 0,12 % С, ~ 1 % Cr, 1 % Ni). Классификация легированных конструкционных сталей представлена на рис. 3.3.



**Рис. 3.3.** Легированные конструкционные стали

Стали специального назначения (с особыми свойствами):

- Коррозионно-стойкие, предназначенные для работы в средах различной агрессивности – 08X13, 20X13, 09X15Н8Ю, 08X17Т, 08X18Н10Т.
- Жаропрочные стали способны противостоять механических нагрузкам при высоких температурах – 12X8ВФ, 15X11МФ, 40X9С2.
- Жаростойкие стали способны противостоять окислению и окалинообразованию при высоких температурах – 15X5, 08X18Н9, 15X28, 20X23Н18.
- Хладостойкие и криогенные стали должны сохранять свои свойства при температурах  $-40 \div -269 \text{ }^\circ\text{C}$  – 18X2Н4ВА, 09Г2С, 06Н9А, 08X25Н20.

Таблица 3.4

**Обозначение легирующих элементов в марках сталей**

Название	Формула	Обозначение	Название	Формула	Обозначение
Азот	N	А (в середине марки)	Медь	Cu	Д
Алюминий	Al	Ю	Молибден	Mo	М
Бор	B	Р	Никель	Ni	Н
Ванадий	V	Ф	Ниобий	Nb	Б
Вольфрам	W	В	Селен	Se	Е
Кобальт	Co	К	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	С	Хром	Cr	Х
Магний	Mg	Ш	Фосфор	P	П
Марганец	Mn	Г	Цирконий	Zr	Ц

**Инструментальные стали**

**Углеродистые инструментальные стали** выпускаются в виде горячекатаного, ковального, калиброванного сортового металла по ГОСТ 1435-99 [12] марок У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13 (качественные) и У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А (высококачественные). Буква «У» обозначает, что инструментальная сталь углеродистая, следующая за ней цифра показывает среднее содержание углерода в *десятых долях процента*. Буква «А» в конце марки обозначает, что сталь высококачественная. Сталь изготавливается термически обработанной. Но по требованию потребителя может поставляться без термической обработки. Структура стали У7 (У7А) – перлит + небольшое количество феррита; У8 (У8А) – перлит; остальные – перлит + цементит вторичный.

Стали доэвтектоидные (У7, У7А) применяют для инструмента, работающего в условиях ударного нагружения (молотков, стамесок, долот, зубил, штампов), т.к. они обладают некоторым запасом пластичности. Стали У10, У11 используют для резцов, сверл, метчиков, фрез и другого мерительного и режу-

щего инструмента для обработки мягких материалов; стали У12, У13 – для инструментов для резания твердых материалов без ударных нагрузок (напильников, рашпилей, бритв, сверл, пил и др.).

**Низколегированные инструментальные стали** (ГОСТ 5950-2000 [13]) содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят для увеличения закаляемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструментов. Хром – постоянный элемент низколегированных инструментальных сталей. Марки сталей – Х, 9ХС, ХВ4, ХВГ, 9ХФ, ХВСГ и т.д. Цифра перед маркой обозначает содержание углерода в *десятих долях процента*. Отсутствие цифры показывает, что углерода содержится около 1 %. Буквы русского алфавита и цифры за ними указывают содержание соответствующего легирующего элемента в *целых процентах*. Эти стали используют для изготовления инструментов: пил, зубил, штемпелей, ножей для холодной и горячей резки, обрезных матриц и пуансонов и т.п. По структурному признаку стали, содержащие 0,4-0,5 % С, являются доэвтектоидными, а с 0,6 % С – эвтектоидными и заэвтектоидными. Структура доэвтектоидных сталей после отжига состоит из пластинчатого и, реже, зернистого перлита с небольшими участками феррита, заэвтектоидных – из зернистого перлита.

**Высоколегированные инструментальные быстрорежущие стали** обозначают буквой **Р** (rapid – быстрый), после которой стоит **число, указывающее содержание (в процентах) вольфрама** – основного легирующего элемента (ГОСТ 19265-73 [14]). Содержание углерода (около 1 %), ванадия (до 2 %) и хрома (~ 4 % во всех сталях) в марке не указываются. Стали, легированные дополнительно молибденом, кобальтом или имеющие повышенное количество ванадия, содержат в марке соответственно буквы М, К, Ф и числа, показывающие их содержание в процентах. Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами – молибденом, хромом, ванадием. Предусмотрено 14 марок быстрорежущих сталей, которые по эксплуатационным свойствам делятся на три группы: нормальной производительности (умеренной теплостойкости), повышенной производительности (повышенной тепло- и износостойкости) и высокой производительности (высокой тепло- и износостойкости). Группу сталей нормальной производительности образуют стали Р18, Р9 Р6М5, сохраняющие твердость не ниже 58 HRC до 620 °С. К группе сталей повышенной производительности относятся стали, содержащие кобальт и повышенное количество ванадия (Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р18К5Ф5, Р9К5, Р6М5К5). Они превосходят стали первой группы по теплостойкости (630-640 °С), твердости (> 64 HRC) и износостойкости, но уступают им по прочности и пластичности. Стали высокой производительности – Р9М4К8, Р2АМ9К5. Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному (карбидному) классу.



### 3.4. Классификация чугунов

**Чугун** – это многокомпонентный сплав железа с углеродом (более 2,14 % С) и другими элементами. Доля чугуновых отливок составляет 70-75 % общего выпуска литья.

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают белые, серые, высокопрочные чугуны, чугуны с вермикулярным графитом и ковкие чугуны.

**Белыми** называются чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Согласно диаграмме состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C белые чугуны подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Из-за большого количества цементита они твердые (450-550 НВ), хрупкие, с трудом отливаются и обрабатываются инструментом. Из них делают детали гидромашин, пескометов и других конструкций, работающие в условиях повышенного абразивного изнашивания. Маркировка белых чугунов не установлена.

Большое влияние на структуру чугуна оказывают условия затвердевания и охлаждения отливок. Быстрое охлаждение способствует получению белого чугуна, медленное – серого.

**Серыми** называют чугуны с пластинчатой формой графита. Определяющее влияние на качество чугунов оказывает углерод, изменяя количество графита и литейные свойства. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита и ниже механические свойства чугуна. По этой причине максимальное содержание углерода ограничивается доэвтектической концентрацией.

Марка серого чугуна состоит из букв **СЧ** (серый чугун) и **числа, показывающего уменьшенное в 10 раз значение (в мегапаскалях) временного сопротивления при растяжении**. Механические свойства серого чугуна регламентируются ГОСТ 1412-85 [15].

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида: серый перлитный со структурой П + графит (СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45); серый ферритно-перлитный со структурой Ф + П + графит (СЧ 20, СЧ 25); серый ферритный со структурой Ф + графит (СЧ 10, СЧ 15).

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры и свойств металлической основы и от количества, формы и размеров графитных включений. Прочность, твердость и износостойкость чугунов растут с увеличением количества перлита в металлической матрице. Влияние графита обусловлено тем, что его пластинки, прочность которых ничтожно мала, действуют как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую основу и ослабляющие ее. При растяжении по концам графитных включений легко формируются очаги разрушения. По этой причине серые чугуны плохо сопротивляются растяжению, имеют низкие прочность и пластичность.

На долю серого чугуна приходится около 80 % общего производства чугуновых отливок. Серые чугуны обладают высокими литейными качествами, хорошо обрабатываются и сопротивляются износу, однако из-за низких проч-

ностных и пластических свойств в основном используются для изготовления неотчетственных деталей: станины, детали станков, блоки цилиндров, санитарно-технические изделия.

**Высокопрочными** называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. *Получение шаровидного графита в чугуне достигается при модифицировании расплава реагентами, содержащими магний, кальций, иттрий, церий, неодим и др.* Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, поэтому он меньше снижает механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным.

Марка высокопрочного чугуна состоит из букв **ВЧ** и числа, **обозначающего уменьшенное в 10 раз значение его временного сопротивления (ГОСТ 7293-85 [16])**, например: ВЧ 35, ВЧ 45.

Высокопрочные чугуны применяют для изготовления оборудования прокатных станов (прокатных валков), кузнечно-прессового оборудования, корпусов паровых турбин, коленчатых валов, поршней и других ответственных деталей, работающих при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

**Ковкими** называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают специальным *графитизирующим отжигом* белых доэвтектических чугунов. Графитизирующий отжиг белого чугуна основан на метастабильности цементита и состоит обычно из двух стадий. Первая стадия (950 – 1050 °С) подбирается по длительности такой, чтобы весь цементит распался на аустенит и хлопьевидный графит. На второй стадии при температуре эвтектидного превращения формируется металлическая основа ковкого чугуна. По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными. Ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокие прочность и твердость.

Хлопьевидный графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкие чугуны по сравнению с серыми обладают более высокой прочностью и пластичностью.

Маркируют ковкие чугуны буквами **КЧ** и **числами, первое из которых указывает уменьшенное в 10 раз значение  $\sigma_{\text{в}}$ , а второе – значение  $\delta$  (относительное удлинение) (ГОСТ 1215-79 [17])**. Например, КЧ 30-6, КЧ 35-10, КЧ 60-3.

Ковкий чугун используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок ответственного назначения, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (деталей приводных механизмов, коробок передач, шасси в автотракторном машиностроении, коллекторов, фитингов, рычагов и др.).

**Антифрикционные чугуны** представляют группу специальных сплавов, способных работать в условиях трения, как подшипники скольжения. ГОСТ 1585-85 [18] включает шесть марок антифрикционного серого чугуна с пластинчатым графитом, две марки высокопрочного и две марки ковкого чугунов. Маркируют антифрикционные чугуны буквами и цифрами: **АЧС-1** – антифрикционный серый чугун, **АЧК-1** – антифрикционный ковкий чугун, **АЧВ-1** антифрикционный высокопрочный чугун.

**Легированные чугуны со специальными свойствами** являются жаростойкими, жаропрочными, износостойкими, коррозионно-стойкими и немагнитными. Эти чугуны выпускают с пластинчатым и шаровидным графитом. Маркируют легированные чугуны буквами «**Ч**» - чугун и буквами, обозначающими легирующие элементы, цифры после букв показывают содержание элементов в целых процентах, буква «**Ш**» в конце марки обозначает шаровидный графит.

Специальные свойства в чугунах достигаются комплексным легированием следующими элементами: хромом и никелем (повышают прочность, коррозионную стойкость, износостойкость); алюминием и кремнием (повышают прочность, окислительную стойкость); и некоторыми другими элементами. Высокой термо- и жаростойкостью обладают аустенитные чугуны: никелевый серый ЧН15Д7 и с шаровидным графитом ЧН15Д3Ш. Химический состав, механические свойства и рекомендуемые виды термической обработки приведены в ГОСТ 7769-82 [19]. Некоторые марки легированных чугунов с обозначениями по ГОСТ 7769-82 и общепринятыми обозначениями представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

**Марки и свойства легированных чугунов**

Вид чугуна	Марка по ГОСТ 7769-82	Принятая марка	Свойства отливок
Хромистый	ЧХ1	ЖЧХ-1*	Жаростойкие
	ЧХ3Т	ИЧХ3Т**	Износостойкие
	ЧХ9Н5	ИЧХ9Н5	Износостойкие
	ЧХ22С	ЧХ22С	Коррозионно-стойкие
Кремнистый	ЧС5	ЖЧС-5	Жаростойкие
	ЧС5Ш	ЖЧС-5Ш	Жаростойкие
	ЧС15М4	ЧС15М4	Коррозионно-стойкие
Марганцевый	ЧГ6С3Ш	ИЧГ6С3Ш	Износостойкие
Никелевый	ЧНМШ	ЧНМШ	Коррозионно-стойкие
	ЧН2Х	ИЧН2Х	Износостойкие
	ЧН20Д2Ш	ЧН20Д2Ш	Жаропрочные

Примечание: \* - буква «Ж» в начале марки означает «жаростойкий чугун»;  
 \*\* - буква «И» в начале марки означает «износостойкий чугун».

### 3.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и маркировку сталей и чугунов.
2. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры углеродистых сталей с различным содержанием углерода и чугунов с графитом разной формы.
3. Определить твердость предложенных образцов сталей и чугунов.

### 3.6. Содержание отчета

1. Изучить классификацию и маркировку сталей и чугунов
2. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры сталей и чугунов различных марок.
3. Выполнить задание в соответствии с вариантом, выданным преподавателем, по расшифровке марок сталей и чугунов (табл. 3.6). Указать химический состав (процентное содержание углерода и легирующих элементов (для легированных сталей), структуру, качество, структурный класс, степень раскисления, назначение, области применения, свойства стали.

Таблица 3.6

#### *Варианты заданий по работе*

Номер варианта	Марки сталей
1	Ст1кп, 08, У7А, 12Х2Н4А, СЧ 10, АЧС-1
2	Ст1пс, 10, У8, 18Х2Н4МА, СЧ 20, ЖЧХ-1
3	Ст2сп, 15, У8Г, 38Х2МЮА, СЧ 30, КЧ 30-6
4	Ст2пс, 20, У9А, 25ХГСА, СЧ 45, ИЧХ4Г7Д
5	Ст3кп, 25, У10, 30ХН2ВФА, ВЧ 35, ЧНХТ
6	Ст3Гпс, 30, У10А, 25ХГНМТ, ВЧ 40, ЧН1МШ
7	Ст3Гсп, 35, У11, 55Х20Г9АН4, КЧ 45-7, АЧВ-1
8	Ст4кп, 40, У11А, 23Х2НВФА, КЧ 55-4, АЧС-3
9	Ст4пс, 45, У12, 10Х12НД, ВЧ 50, ЖЧХ-0,8
10	Ст4сп1, 50, У12А, 12ХН3А, ВЧ 70, ИЧХ3ТД
11	Ст5Гпс, 55, У13, 12ДХН1МФ, ВЧ 80, ИЧХ15М3
12	Ст5сп2, 60, У13А, 14Х17Н2, ВЧ 100, ЧН1ХМД
13	Ст6кп1, 65, У7, 10Х17Н13М2Т, СЧ 15, ВЧ 60
14	Ст6пс2, 70, У8А, 15Х18Н12С4ТЮ, ИЧХ12М, СЧ 18
15	Ст6сп3, 75, У9, 10Х17Н13М2Т, КЧ 50-5, АВЧ-1
16	Ст0, 08пс, Р18, 15Х23Н18Л, КЧ 60-3, ИЧХ12Г3М
17	Ст5пс1-П, У7А, 31Х19Н9МВБТ, КЧ 65-3, СЧ 35
18	Ст4пс1-И, Р6М5, 12Х18Н12БЛ, КЧ 70-2, ЖЧХ-1,5
19	Ст2кп1, Р10К5Ф5, 35Х18Н24С2Л, СЧ 15, ВЧ 70
20	Ст4кп1, Р9, 08Х17Н34В5Т3Ю2Р, ВЧ 40, КЧ 60-3

## Контрольные вопросы

1. Укажите основные принципы классификации сталей.
2. Как зависят свойства сталей от содержания углерода?
3. Чем определяется качество сталей?
4. Как в марке стали отражается степень раскисления?
5. Как маркируют углеродистые стали обыкновенного качества?
6. Укажите принципы маркировки инструментальных сталей.
7. Как маркируют легированные конструкционные стали?
8. Как маркируют быстрорежущие стали?
9. В чем отличие маркировки легированных конструкционных сталей и низколегированных инструментальных сталей?
10. В чем отличие маркировки шарикоподшипниковых сталей,
11. Как маркируют качественные конструкционные стали?
12. Какие формы графита существуют в чугунах?
13. Как влияет графит на механические свойства чугуна?
14. Для каких деталей рекомендуется серый чугун?
15. Какой чугун рекомендуется применять для изготовления подшипника скольжения, работающего в паре с упрочненным валом?
16. Как получают в чугуне шаровидный графит?
17. Почему чугуны с шаровидным графитом называют высокопрочными?
18. Как получают ковкие чугуны?
19. Где применяют ковкие чугуны?
20. Какие чугуны используют для литья деталей, работающих при высоких температурах или в коррозионной среде?
21. Какими методами достигается получение специальных свойств в чугунах?

## Литература

[8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

## Лабораторная работа № 4

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

### 4.1. Цель работы

Изучение классификации строительных сталей по прочности и области применения, механическим свойствам и структурным особенностям.

### 4.2. Оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Машина для испытаний на растяжение типа Р5.
3. Набор микрошлифов строительных сталей.

### 4.3. Классификация строительных сталей по прочности и области их применения

**Строительные стали** используют для изготовления металлических конструкций и сооружений из профилей, листов и труб. Из них производят металлоконструкции промышленных зданий, пролеты мостов и эстакад, магистральные нефте- и газопроводы. **Стали должны обладать достаточной прочностью и пластичностью, малой склонностью к хрупким разрушениям, хорошей технологичностью (свариваемостью, способностью к гибке, правке и т.п.) и хладостойкостью.**

В строительных конструкциях в основном применяют прокат (стали), который подразделяют на сортовой (круг, квадрат, шестигранник, полоса), фасонный (балка, швеллер, уголок, профили спецназначения), листовой (тонколистовой до 4 мм, толстолистовой от 4 до 160 мм и рулонный толщиной от 4 до 12 мм), а также прокат в виде согнутых из листа профилей (гнутые профили).

Горячекатаный фасонный прокат (уголки, двутавры, швеллеры), листовой, широкополосный универсальный прокат и гнутые профили из углеродистых и низколегированных сталей, предназначенных для сварных строительных конструкций, *в соответствии с ГОСТ 27772-88 [20] подразделяют на условные классы вне зависимости от химического состава и марки стали, принимая во внимание только их механические свойства при растяжении. Основными расчетными характеристиками металлоконструкций являются временное сопротивление и предел текучести.*

**В соответствии с ГОСТ 27772-88 строительные стали маркируют буквой «С» и числом, выражающим значение предела текучести в мегапаскалях: С235, С285,..., С590.** В конце могут стоять буквы К, Т или Д, обозначающие:

К – отличие химического состава стали того же класса прочности, например С345К, отличается от С345 наличием 0,08...0,15 % Al;

Т – упрочнение проката термической обработкой (для листов из стали С390, С390К, С440 используют нормализацию или улучшение, для листов из сталей С590 и С590К – только улучшение).

Д – введение в сталь 0,15 – 0,30 %Сu для повышения сопротивления атмосферной коррозии.

В табл. 4.1 приведены условные обозначения классов строительных сталей, максимальные значения предела текучести и некоторые марки сталей, соответствующие каждому классу.

**Строительные стали в зависимости от уровня прочностных свойств условно классифицируют на стали обычной прочности ( $\sigma_T$  до 290 МПа), стали повышенной прочности ( $\sigma_T$  от 290 до 440 МПа) и стали высокой прочности ( $\sigma_T$  от 440 МПа и выше).**

Таблица 4.1

***Классы и соответствующие им марки сталей для строительных конструкций***

Класс стали	Предел текучести (не ниже), МПа	Марка стали по действующим стандартам или ТУ (ГОСТ 27772)	Классификация по прочности
С235	235	Ст3кп2, 18кп	<b>Обычной прочности</b>
С245	245	Ст3пс6, Ст3сп5, 18пс	
С255	255	Ст3Гпс5, Ст3Гсп6, 17Гсп	
С275	275	Ст3пс6	
С285	285	Ст3сп5, Ст3Гсп5	
С345 С345Т	345	09Г2С, 12Г2С, 14Г2 15ХСНД, Ст3Гпс	<b>Повышенной прочности</b>
С345К	345	10ХНДП	
С375, С375Д	375	12Г2С, 12Г2СД	
С390, С390Т	390	14Г2АФ, 10Г2С1, 10ХСНД	
С390К	390	15Г2ФД	
С440	440	16Г2АФ	<b>Высокой прочности</b>
С590	590	12Г2СМФ	
С590К	590	12ГН2МФАЮ	

К группе сталей обычной прочности относятся низкоуглеродистые стали обыкновенного качества марок Ст3 и Ст3Г и качественные стали марок 18 и

18Г. Строительную сталь повышенной прочности получают путем термического упрочнения низкоуглеродистых сталей (Ст3Г) или использования низколегированных сталей, причем стали С345 и С375 обычно изготавливают в горячекатаном состоянии, а С390 – в нормализованном или улучшенном состоянии. Группа сталей высокой прочности включает стали С440 и С590. Первая может поставляться в нормализованном или улучшенном состоянии, вторая – только после термоупрочнения улучшением (заковки и высокого отпуска).

В зависимости от нормируемых свойств (химического состава, предела прочности, предела текучести, относительного удлинения, угла загиба, ударной вязкости при различных температурах и после механического старения) низколегированные строительные стали подразделяют на 15 категорий.

Выбор марок сталей для строительных конструкций осуществляют на основе вариантного проектирования и технико-экономического анализа в соответствии с рекомендациями строительных норм и правил (СНиП II-23-81\* [21]). **Рекомендации СНиП учитывают различия в условиях работы конструкций, которые подразделяют на четыре группы:**

**1. Сварные строительные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях и подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок** (балки рабочих площадок, подкрановые балки мартеновских и конвертерных цехов, элемента конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, пролетные строения транспортных галерей и т.д.). Для этой группы рекомендуется сталь С345 марок 09Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД и С390 (10ХСНД и термоупрочненная 10Г2С1). Применение высокопрочных сталей  $\sigma_T > 440$  МПа, более склонных к хрупкому разрушению, не рекомендуется.

**2. Сварные конструкции, находящиеся под непосредственным воздействием динамических и вибрационных нагрузок, кроме перечисленных в группе 1 (пролеты наклонных мостов доменных печей, пролетные строения и опоры транспортных галерей и т.п., а также конструкции и их элементы, перечисленные в группе 1, при отсутствии в них сварных соединений).** При умеренно низких температурах (до  $-30^\circ\text{C}$ ) для 2-й группы конструкций применяют стали обычной и повышенной прочности 09Г2С, 10Г2С1, 10Г2СД, 15ХСНД, 10ХСНД, 14Г2АФ и высокопрочные стали 16Г2АФ, 15Г2АФ. При рабочих температурах ниже  $-30^\circ\text{C}$  применять высокопрочные стали не рекомендуется.

**3. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статических нагрузках (колонны, стойки, опорные плиты, элементы настила перекрытий и др.).** Для этой группы конструкций при рабочих температурах выше  $-30^\circ\text{C}$  применяют стали обычной, повышенной и высокой прочности ма-



рок 14Г2, 14Г2АФ, 16Г2АФ, 12Г2СМФ. Для рабочих температур ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  применение высокопрочных сталей С440 и С590 не рекомендуется.

**4. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, элементы фахверка, лестницы, трапы, ограждения и др.), а также конструкции и их элементы группы 3 при отсутствии сварных соединений.** Для этой группы конструкций рекомендуются углеродистые стали обычной прочности и низколегированные стали повышенной прочности марок 09Г2С, 14Г2, 12Г2С, 15ХСНД.

Металлические мосты изготавливаются из углеродистой стали марки 16Д и низколегированных сталей марок 15ХСНД и 10ХСНД (ГОСТ 6713), 10Г2С1Д, 16Г2АФ. Свариваемость указанных сталей обеспечивается технологией изготовления и соблюдением всех требований по химическому составу и механическим свойствам.

Прокат из стали марок 15ХСНД и 10ХСНД в зависимости от вида термообработки соответствует одной из трех категорий: 1 – без термической обработки, 2 – в нормализованном состоянии, 3 – в термически улучшенном состоянии (после закалки и высокого отпуска).

Для резервуаров больших объемов, газгольдеров и других емкостей рекомендуются стали от С330 до С590 (09Г2С, 16Г2АФ, 10Г2С1, 12Г2СМФ и др.).

Для сварных магистральных газопроводных труб применяют сталь 17ГС ( $\sigma_T=360$  МПа), поступающую в нормализованном состоянии. Для менее ответственных труб сталь 17ГС может использоваться в горячекатаном состоянии. Для труб также применяются более легированные стали марок 14Г2САФ, 14Г2СФБ, 16Г2САФ с  $\sigma_B \leq 450$  МПа.

После сварки низколегированные стали для снятия напряжений могут подвергаться высокому отпуску при  $630 \dots 700^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.4. Порядок выполнения работы**

1. Изучить классификацию строительных сталей.
2. Изучить разделение строительных сталей по классам в зависимости от прочностных свойств материалов.
3. Рассмотреть под микроскопом шлифы различных строительных сталей, изучить структурные особенности этих материалов.
4. Определить прочностные характеристики ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ) предложенных образцов из строительных сталей различных марок. Классифицировать стали по пределу текучести  $\sigma_T$ .

## 4.5. Содержание отчета

1. Название, цель.
2. Перечислить основные принципы деления строительных сталей на классы и группы в зависимости от прочностных свойств с описанием механических свойств и методов термоупрочнения.
3. Привести классификацию по прочности (табл. 4.1.) и классификацию по областям применения с указанием конкретных марок сталей.
4. Проанализировать и описать структурные особенности предложенных образцов строительных сталей (в зависимости от марки стали).
5. Записать определенные экспериментальным путем прочностные характеристики образцов строительных сталей и отнести их к конкретному классу по  $\sigma_T$ .

### Контрольные вопросы

1. Какие стали относят к строительным?
2. Как классифицируются строительные стали по пределу текучести?
3. Как маркируются классы строительных сталей?
4. Как делятся строительные стали в зависимости от области применения?
5. Какие стали относятся к строительным сталям обычной прочности? (Приведите классы прочности и марки сталей).
6. Какие стали относятся к строительным сталям повышенной прочности? (Приведите классы прочности и марки сталей).
7. Какие стали относятся к строительным сталям высокой прочности? (Приведите классы прочности и марки сталей).
8. Как осуществляется термоупрочнение строительных сталей?
9. Как осуществляется дополнительное повышение механических свойств строительных сталей?

### Литература

[13, с. 173-181], [9], [20], [21]

# Лабораторная работа № 5

## АРМАТУРНЫЕ СТАЛИ. ПРОВОЛОЧНАЯ АРМАТУРА. СТАЛЬНЫЕ КАНАТЫ

### Цель работы

Изучить основные принципы разделения арматурных сталей на классы, механические свойства, маркировку. Ознакомиться с маркировкой и классификацией проволочной арматуры. Ознакомиться с маркировкой и классификацией стальных многопроволочных канатов.

### 5.2. Оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Машина для испытаний на растяжение типа ИР-500.
3. Набор микрошлифов строительных сталей.

### 5.3. Арматурные стали. Классификация, маркировка, механические свойства

Для армирования железобетонных конструкций применяют специальные арматурные стали, которые поставляются в виде стержней и проволоки. Их изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей.

Для описания арматурных сталей используются некоторые термины:

**Арматурная сталь периодического профиля** - стержни с равномерно расположенными на их поверхности под углом к продольной оси стержня поперечными выступами (рифлением) для улучшения сцепления с бетоном (рис. 5.1, 5.2).

**Арматурная сталь гладкая** - круглые стержни с гладкой поверхностью, не имеющей рифления для улучшения сцепления с бетоном.

**Класс прочности** - установленное стандартом нормируемое значение физического или условного предела текучести стали.

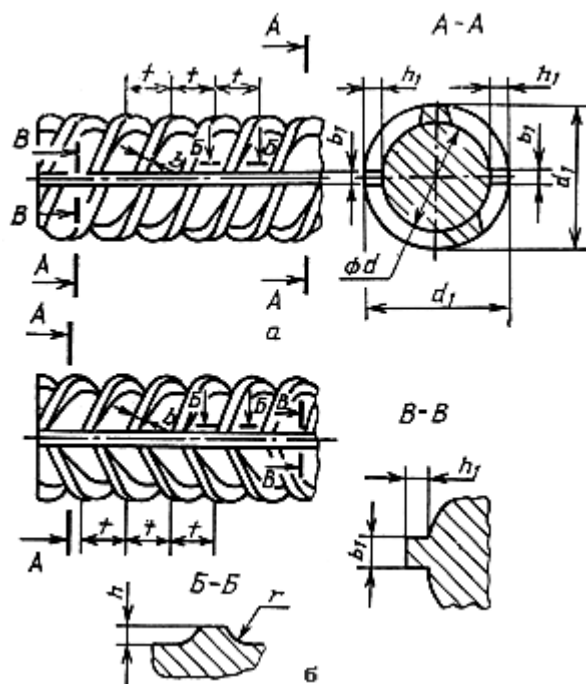
**Угол наклона поперечных выступов** - угол между поперечными выступами (рифлением) и продольной осью стержня (рис. 5.1, 5.2).

**Шаг поперечных выступов** - расстояние между центрами двух последовательных поперечных выступов, измеренное параллельно продольной оси стержня (рис. 5.1, 5.2).

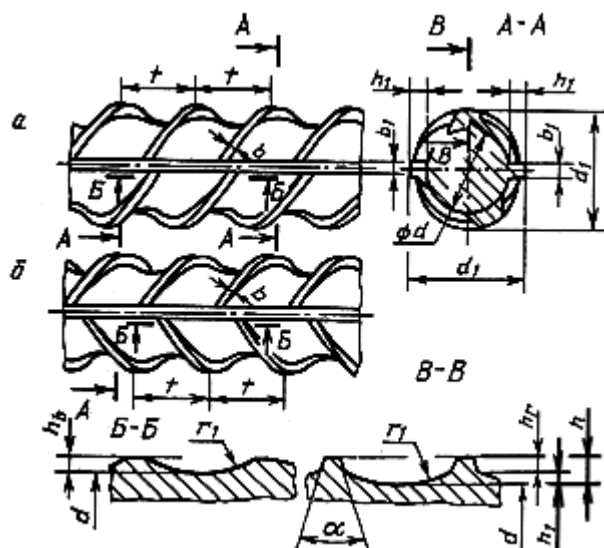
**Высота поперечных выступов** - расстояние от наивысшей точки поперечного выступа до поверхности сердцевины стержня периодического профиля, измеренное под прямым углом к продольной оси стержня (рис. 5.1, 5.2).

**Номинальный диаметр арматурной стали периодического профиля (номер профиля)** - диаметр равновеликого по площади поперечного сечения круглого гладкого стержня (рис. 5.1, 5.2).

**Номинальная площадь поперечного сечения** - площадь поперечного сечения, эквивалентная площади поперечного сечения круглого гладкого стержня того же номинального диаметра (рис. 5.1, 5.2).



**Рис. 5.1.** Профили арматурной стали: а) класса А300; б) классов А400, А600, А800, А1000



**Рис. 5.2.** Профили арматурной стали: а) класса Ас300; б) классов А400, А600, А800, А1000

Стержневая арматура подразделяется на **горячекатаную (ГОСТ 5781-82 [22])** и **термомеханически и термически упрочненную (ГОСТ 10884-94 [23])** и изготавливают следующих классов: **A240, A300, Ac300, A400, A600, A800, A1000, At400C, At500C, At600, At600C, At600K, At800, At800K, At1000, At1000K и At1200** (см. табл. 5.1 и 5.2.).

**Арматурную сталь подразделяют на классы в зависимости:**

- от механических свойств – класса прочности (установленного стандартом нормируемого значения условного или физического предела текучести в Н/мм<sup>2</sup>;
- от эксплуатационных характеристик – на свариваемую (индекс С), стойкую против коррозионного растрескивания (индекс К).

Таблица 5.1

**Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций  
ГОСТ 5781-82 (Попр. 1994 г.)**

Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали
<b>A240 (A-I)</b>	6 - 40	СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп
<b>A300 (A-II)</b>	10 - 40 40 – 80	Ст5сп, Ст5пс 18Г2С
<b>Ac300 (Ac-II)</b>	10 - 32 (36 - 40)	10ГТ
<b>A400 (A-III)</b>	6 - 40 6 – 22	35ГС, 25Г2С 32Г2Рпс
<b>A600 (A-IV)</b>	10 - 18 (6 - 8) 10 - 32 (36 - 40)	80С 20ХГ2Ц
<b>A800 (A-V)</b>	(6 - 8) 10 - 32 (36 - 40)	23Х2Г2Т
<b>A1000 (A-VI)</b>	10 - 22	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР

Примечания:

1. Допускается изготовление арматурной стали класса А-V(A800) из стали марок 22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, и 22Х2Г2СР.

2. Размеры, указанные в скобках, изготавливают по согласованию изготовителя с потребителем.

Ведущим показателем каждого класса является минимальное значение предела текучести, которое считается нормативным сопротивлением арматуры. Принятые обозначения классов стержневой арматуры (А) дополняются индексами для указания способа изготовления, особых свойств и назначения. Термо-

механически и термически упрочненную стержневую сталь обозначают **Ат**, сталь для конструкций, используемых в районах Севера – **Ас**.

Таблица 5.2

**Сталь арматурная термомеханически упрочненная  
для железобетонных конструкций ГОСТ 10884-94**

Класс арматурной стали по ранее действующей НТД	Класс арматурной стали ГОСТ 10884-94	Диаметр профиля, мм	Марка стали
-	<b>Ат400С</b>	6 - 40	Ст3сп, Ст3пс
-	<b>Ат500С</b>	6 - 40	Ст5сп, Ст5пс
<b>Ат-IV</b>	<b>Ат600</b>	10 – 40	20ГС
<b>Ат-IVС</b>	<b>Ат600С</b>	10 – 40	25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС
<b>Ат-IVК</b>	<b>Ат600К</b>	10 - 40	10ГС2, 08Г2С, 25С2Р
<b>Ат-V</b>	<b>Ат800</b>	10 – 32	20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2, 28С, 25Г2С, 22С
		18 – 32	35ГС, 25С2Р, 20ГС2
<b>Ат-VК</b>	<b>Ат800К</b>	18 – 32	35ГС, 25С2Р
<b>Ат-VI</b>	<b>Ат1000</b>	10 – 32	20ГС, 20ГС2, 25С2Р
<b>Ат-VIK</b>	<b>Ат1000К</b>	10 – 32	20ХГС2
<b>Ат-VII</b>	<b>Ат1200</b>	10 – 32	30ХС2

Арматурную сталь классов А240 (А-I) и А300 (А-II) диаметром до 12 мм и класса А400 (А-III) диаметром до 10 мм включительно поставляют в мотках; больших диаметров – в стержнях, остальных классов – то же в стержнях.

Свариваемую арматурную сталь допускается поставлять в виде стержней:

- мерной длины с немерными отрезками длиной не менее 2 м в количестве не более 15 % массы партии;

- немерной длины от 6 до 12м. В партии такой арматурной стали допускается наличие стержней длиной от 3 до 6 м в количестве не более 7 % массы партии.

Предельные отклонения по длине стержней мерной длины должны соответствовать требованиям ГОСТ 5781.

Обозначение арматурной стали должно содержать:

- номинальный диаметр (номер профиля), мм;
- обозначение класса прочности;
- обозначение ее эксплуатационных характеристик - свариваемости (индекс С), стойкости против коррозионного растрескивания (индекс К).

## Примеры условного обозначения

Арматурная сталь диаметром 20 мм, класса А-II (А300):

*20-А300 ГОСТ 5781-82*

То же, диаметром 10 мм, класса прочности Ат400, свариваемой (С):

*10Ат400С ГОСТ 10884-94*

Арматурная сталь диаметрами 6 и 8 мм изготавливается в мотках. Изготовление арматурной стали классов Ат400С, Ат500С и Ат600С диаметром 10 мм допускается в мотках.

Арматурную сталь термомеханически упрочненную изготавливают с периодическим профилем или по согласованию изготовителя с потребителем сталь класса прочности Ат800 и выше допускается изготавливать гладкой.

Стали классов А240 (А-I) - А600 (А-IV) поставляют в горячекатаном состоянии и применяют в основном для ненапрягаемой арматуры. Горячекатаную сталь класса А800 (А-V) подвергают низкотемпературному отпуску, а сталь класса А1000 (А-VI) – низкотемпературному отпуску или термомеханической обработке. Стали классов Ат400С, Ат500С – Ат1200 (Ат-VII) применяют после термического (закалка +отпуск) и термомеханического (ВТМО) упрочнения.

Из классов сталей А800, А1000, и Ат400 – Ат1200 обычно изготавливают предварительно напрягаемую арматуру.

При отсутствии прокатной маркировки концы стержней или связки арматурной стали соответствующего класса должны быть окрашены несмываемой краской следующих цветов:

- Ат400С - белой;
- Ат500С - белой и синей;
- Ат600 - желтой;
- Ат600С - желтой и белой;
- Ат600К - желтой и красной;
- Ат800 - зеленой;
- Ат800К - зеленой и красной;
- Ат1000 - синей;
- Ат1000К - синей и красной;
- Ат1200 - черной.

## 5.4 Проволочная арматура

Проволочная арматура подразделяется на арматурную проволоку и арматурные проволочные изделия.

Арматурная проволока делится на два класса:

- обыкновенную арматурную проволоку – холоднотянутую стальную низкоуглеродистую проволоку класса В-I, предназначенную для ненапрягаемой арматуры (ГОСТ 6727-80 [24]);

- высокопрочную арматурную проволоку – холоднотянутую стальную углеродистую проволоку класса В-II, предназначенную для предварительно напряженных железобетонных конструкций (ГОСТ 7384-81 [25]).

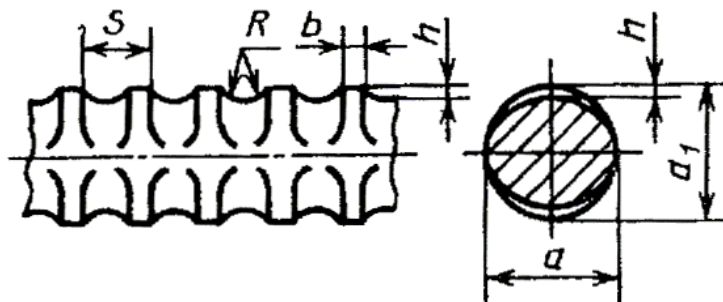
Стальная проволока подразделяется на круглую или гладкую и периодического профиля; при маркировке арматурной проволоки периодического профиля к индексу «В» добавляют индекс «р», что означает – рифленая (Вр-I, Вр-II).

Проволоку классов В-I и Вр-I изготавливают из низкоуглеродистой стали (содержание углерода не превышает 0,25%), диаметром 3...5 мм. Она хорошо сваривается и идет на изготовление ненапрягаемой арматуры (например, сварных сеток) для армирования железобетонных конструкций.

Пример условного обозначения проволоки периодического профиля номинальным диаметром 3,0 мм:

*Проволока 3 Вр-I ГОСТ 6727-80.*

Внешний вид проволоки приведен на рис. 5.3.



**Рис. 5.3.** Проволока периодического профиля класса Вр-I

Проволоку классов В-II и Вр-II изготавливают из углеродистых сталей марок 65...85, диаметром от 3 до 8 мм. После протяжки ее подвергают низкотемпературному отпуску. Она плохо сваривается и применяется в основном для изготовления предварительно напрягаемой арматуры.

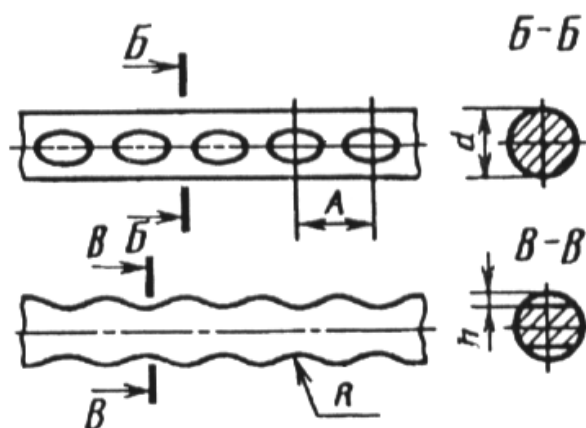
Проволока подразделяется:

- по состоянию изготовления:
  - с отпуском,
  - с отпуском под напряжением (стабилизированная) — Р;
- по точности изготовления на группы: 1, 2, 3.

Стабилизированная проволока изготавливается только круглая. Проволока в зависимости от диаметра и величины условного предела текучести изготавливается следующих классов прочности: 1500, 1400, 1300, 1200.

Номинальный диаметр, предельные отклонения по нему, глубина вмятин, номинальный шаг вмятин и предельные отклонения по нему должны соответствовать указанным на рис. 5.4.





**Рис. 5.4.** Профили проволочной арматуры класса Вр-II

Примеры условных обозначений

Проволока диаметром 5 мм, класса прочности 1400, круглая, стабилизированная, группы точности 1:

*Проволока 5В1400—Р1 ГОСТ 7348—81*

То же, диаметром 3 мм, класса прочности 1500, периодического профиля, группы точности 1, с отпуском:

*Проволока 3Вр1500—1 ГОСТ 7348—81.*

Арматурные проволочные изделия подразделяются на:

- арматурные канаты – стальные канаты, предназначенные для напрягаемой арматуры;
- арматурные сварные сетки для ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций;
- сетки для армоцемента – тканые или сварные проволочные сетки для армирования армоцементных конструкций.

### 5.5. Канаты стальные многопроволочные

Стальные спиральные канаты, предназначенные для использования в качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций, выпускаются по ГОСТ 13840-68 Канаты стальные арматурные 1×7. Технические условия. [26].

**Канаты подразделяют по виду изготовления:**

- с отпуском;
- с отпуском под напряжением (стабилизированный) - С.

Поперечный разрез каната показан на рис. 5.5а.

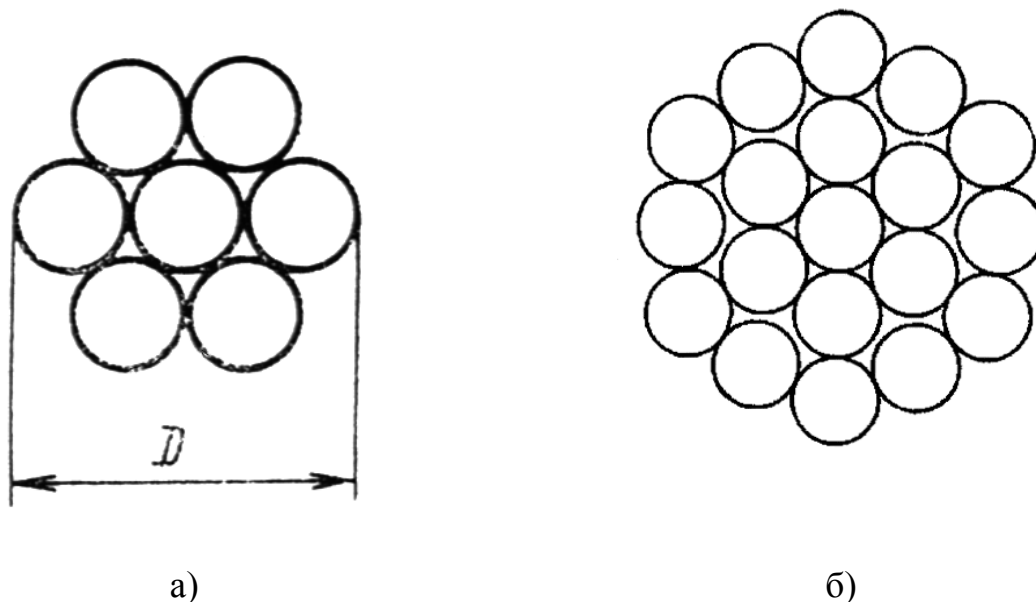
Примеры условных обозначений

Канат семипроволочный условным диаметром 6,0 мм, условным пределом текучести 1500 Н/мм<sup>2</sup> (153 кгс/мм<sup>2</sup>), с отпуском:

6К7-1500 ГОСТ 13840-68.

Канат семипроволочный условным диаметром 12,0 мм, условным пределом текучести  $1500 \text{ Н/мм}^2$  ( $153 \text{ кгс/мм}^2$ ), с отпуском под напряжением:

12К7-1500-С ГОСТ 13840-68.



**Рис. 5.5.** Схема расположения проволоки в канате: а) 1х7; б) 1х19

Канаты изготавливают из проволоки стали марок 70, 75, 80, 85 по ГОСТ 14959 или нормативно-технической документации в соответствии с требованиями настоящего стандарта, по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

Канаты, изготовляют правой свивки с линейным касанием проволок. канаты должны быть нераскручивающимися.

Канат должен быть прямолинейным. Канат считают прямолинейным, если отрезок каната длиной не менее 1,3 м при свободной укладке на плоскость образует сегмент с основанием 1 м и высотой не более 75 мм.

Стальные канаты одинарной свивки с точечным касанием проволок в канате типа ТК выпускают по конструкции 1×19(1+6+12) согласно ГОСТ 3063-66 [27] (рис. 5.5б).

Канаты подразделяются по признакам:

- по назначению:

грузовые - Г;

- по механическим свойствам марок: ВК, В, 1;

- по виду покрытия поверхности проволок в канате:

из проволоки без покрытия,

из оцинкованной проволоки в зависимости от поверхностной плотности цинка: С, Ж, ОЖ;

- по направлению свивки:  
правой,  
левой - Л;
- по способу свивки:  
нераскручивающиеся - Н,  
раскручивающиеся;
- по степени крутимости:  
малокрутящиеся - МК;
- по точности изготовления:  
нормальной,  
повышенной - Т;
- по степени уравниваемости:  
рихтованные - Р,  
нерихтованные.

### Примеры условных обозначений

Канат диаметром 6,1 мм, грузового назначения, марки В, из проволоки без покрытия, левой свивки, нераскручивающийся, нерихтованный, повышенной точности, маркировочной группы 1570 Н/мм<sup>2</sup> (160 кгс/мм<sup>2</sup>):

*Канат 6,1-Г-В-Л-Н-Т-1570 ГОСТ 3063-80*

То же, диаметром 7,6 мм, грузового назначения, марки 1, оцинкованный по группе Ж, правой свивки, раскручивающийся, рихтованный, нормальной точности, маркировочной группы 1770 Н/мм<sup>2</sup> (180 кгс/см<sup>2</sup>):

*Канат 7,6-Г-1-Ж-Р-1770 ГОСТ 3063-80*

### 5.6. Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию арматурных сталей, проволочной арматуры, стальных многопроволочных канатов.

2. Изучить зависимость разделения арматурных сталей по классам от прочностных свойств материалов.

3. Рассмотреть под микроскопом шлифы различных арматурных сталей, изучить структурные особенности этих материалов.

4. Определить прочностные характеристики ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ) предложенных образцов из арматурных сталей различных марок. Классифицировать стали по пределу текучести  $\sigma_T$ .

## 5.7. Содержание отчета

1. Название, цель.
2. Перечислить основные принципы деления строительных сталей на классы и группы в зависимости от прочностных свойств с описанием механических свойств и методов термоупрочнения.
3. Привести классификацию по прочности (табл. 5.2.) и классификацию по областям применения с указанием конкретных марок сплавов.
4. Проанализировать и описать структурные особенности предложенных образцов строительных сталей (в зависимости от марки стали).
5. Записать определенные экспериментальным путем прочностные характеристики образцов строительных сталей и отнести их к конкретному классу по пределу текучести ( $\sigma_T$ ).

### Контрольные вопросы

1. Какие стали называются арматурными?
2. Как классифицируются арматурные стали по пределу текучести?
3. Как маркируются классы арматурных сталей?
4. Что должно содержать обозначение арматурной стали? Привести примеры?
5. Как маркируется проволочная арматура? Привести примеры.
6. Как классифицируются и маркируются стальные многопроволочные канаты? Привести примеры.
7. Как осуществляется термическое и термомеханическое упрочнение арматурных сталей?
8. По каким признакам подразделяются канаты?
9. Как подразделяются канаты по виду изготовления?
10. Из каких марок сталей изготавливаются канаты?
11. Из каких марок сталей изготавливается проволочная арматура?

### Литература

[13, с.181-184], [22], [23], [24], [25], [26], [27]

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

### 6.1. Цели работы

Изучить основные виды термической обработки сталей, произвести выбор режимов термической обработки стали - по заданию преподавателя - на основании диаграммы Fe - Fe<sub>3</sub>C и C-образной диаграммы, изучить структуру стали после каждого вида термической обработки, изучить механические свойства при испытаниях на растяжение и ударный изгиб после различных видов термической обработки, установить взаимосвязь структуры термообработанной стали с механическими свойствами и склонностью к хрупкому разрушению, изучить влияние термической обработки на твердость сталей.

### 6.2. Оборудование, приборы и материалы

Работа выполняется на стандартном оборудовании с применением следующих гостированных приборов и оборудования:

1. Нагревательные электрические печи с температурой нагрева до 950-1000°C.
2. Термопары хромель-алюмелевые и хромель-копелевые типов ТХА, ТХК.
3. Потенциометры или другие приборы для контроля, регулирования и записи температуры с точностью + 10-15°C.
4. Твердомеры типов ТК, ТШ, ТП (приборы Роквелла, Бринеля)
5. Баки закалочные лабораторные (водяной и масляный).
6. Клещи, крючки, поддоны нестандартные лабораторные.
7. Микроскопы металлографические типов МИМ-7 с коллекциями микрошлифов термообработанных сталей.
8. Штангенциркули.
9. Бумага наждачная разных номеров.
10. Станки шлифовальные и полировальные.

### 6.3. Теоретические сведения

**Термической** называют обработку, связанную с тепловым воздействием на твердый металл с целью изменения его структуры и свойств.

Любой процесс термической обработки можно охарактеризовать графиком в координатах «температура-время» ( $t$ - $\tau$ ) и описать с помощью параметров, главные из которых – максимальная температура нагрева сплава  $t_1$ , время выдержки ( $\tau_1$ - $\tau_2$ ) и скорость охлаждения (рис. 6.1). Угол наклона характеризует скорость нагрева или охлаждения.



Рис. 6.1. График термической обработки

В результате термической обработки в сплавах происходят структурные изменения. После термообработки металлические сплавы могут находиться в равновесном (стабильном) или неравновесном (метастабильном) состоянии. *Равновесное состояние* достигается тогда, когда полностью завершатся все протекающие в сплавах процессы. При этом строение сплава будет соответствовать диаграмме состояния. *Неравновесное состояние* получается при условиях, препятствующих полному завершению протекающих процессов.

**Обозначение критических точек (температур)**, характеризующих полиморфные превращения в сталях, принимаются в соответствии с диаграммой Fe - Fe<sub>3</sub>C. Равновесные температуры, отвечающие положению линий PSK, GS и SE диаграммы, обозначают:

$A_1$  – температура равновесия аустенита с ферритом и цементитом (линия PSK);

$A_3$  – температура верхней границы равновесной области феррит - аустенит (линия GS);

$A_{cm}$  – температура верхней границы равновесной области вторичный цементит – аустенит (линия SE) (cm – цементит).

Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении (поскольку они не совпадают: при нагреве необходимо перегреть выше равновесных температур, а при охлаждении переохладить), к обозначению критической точки при нагреве приписывают букву **c**, а при охлаждении букву **r**:

$A_{c1}$  – температура начала образования аустенита при нагреве стали;

$A_{c3}$  – температура окончания образования аустенита при нагреве доэвтектоидной стали;

$A_{cm}$  – температура окончания растворения вторичного цементита в аустените при нагреве заэвтектоидной стали;

$A_{r1}$  – температура окончания превращения аустенита в перлит при охлаждении стали;

$A_{r3}$  – температура начала превращения аустенита в феррит при охлаждении доэвтектоидной стали;

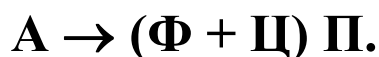
$A_{r_{cm}}$  – температура начала выделения вторичного цементита из аустенита при охлаждении стали.

Если сталь со структурой аустенита, полученной в результате нагрева до температуры выше  $A_{c3}$  (для доэвтектоидной стали) или выше  $A_{cm}$  (для заэвтектоидной стали), переохладить до температуры ниже  $A_{r1}$ , то аустенит оказывается в метастабильном состоянии и претерпевает превращение. Для описания кинетики превращения переохлажденного аустенита пользуются экспериментально построенными диаграммами время – температура – степень распада или диаграммами изотермического превращения аустенита, т.е. превращения, протекающего при постоянной температуре (рис. 6.2).

На диаграмме можно выделить следующие области: 1) устойчивого аустенита; 2) переохлажденного аустенита; 3) превращения аустенита в перлит; 4) закончившегося превращения; 5) мартенситного превращения (между  $M_n - M_k$ ); 6) мартенситную (ниже  $M_k$ ). Диаграмма изотермического превращения позволяет определить конечную структуру для данной марки стали, если известна температура или скорость превращения. Рассмотрим структуры, образующиеся при превращении аустенита.

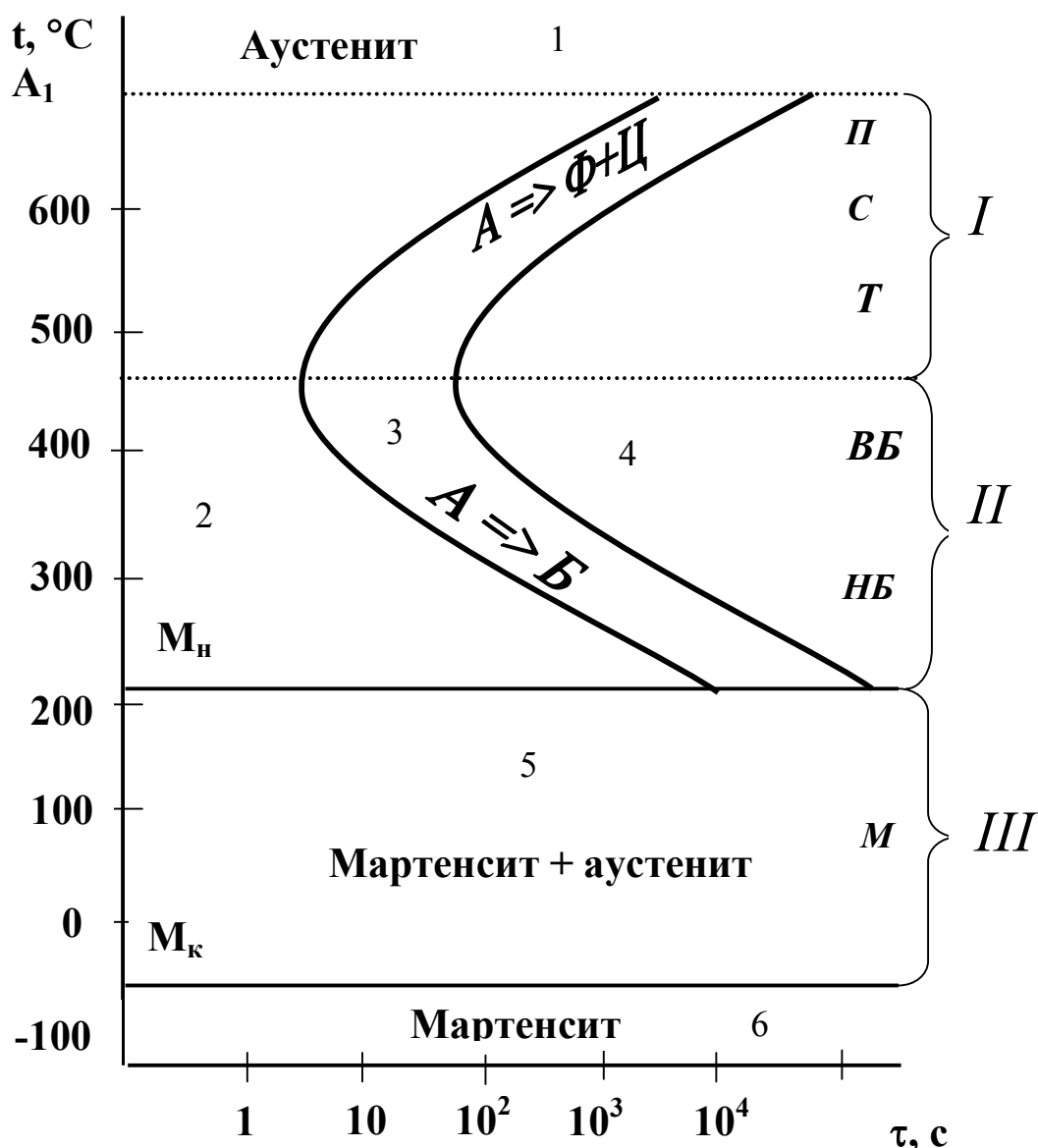
### *Перлитное превращение*

Перлитное превращение переохлажденного аустенита протекает при температурах  $A_{r1} - 500$  °С (рис. 6.2). При перлитном превращении ведущей фазой является цементит. Его зародыши, как правило, образуются на границах зерен аустенита. В результате образования пластинок цементита соседние участки в аустените обедняются углеродом, что приводит к полиморфному  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращению и образованию ферритно-цементитной структуры:



При увеличении переохлаждения увеличивается количество зародышей новой фазы и растет дисперсность пластинок феррита и цементита. Если превращение происходит при высоких температурах (низкая скорость охлаждения, малая степень переохлаждения), получается грубая смесь феррита и цементита, которая называется **перлитом**. Понижение температуры превращения вызывает

образование смеси более тонкого строения, которое получила название **сорбит**. При еще более низкой температуре образуется **троостит** - структура более дисперсная. С увеличением степени дисперсности пластин цементита растет твердость и прочность стали. Наибольшую пластичность имеют стали с сорбитной структурой. Троостит, образующийся при более низкой температуре превращения, характеризуется меньшей пластичностью.

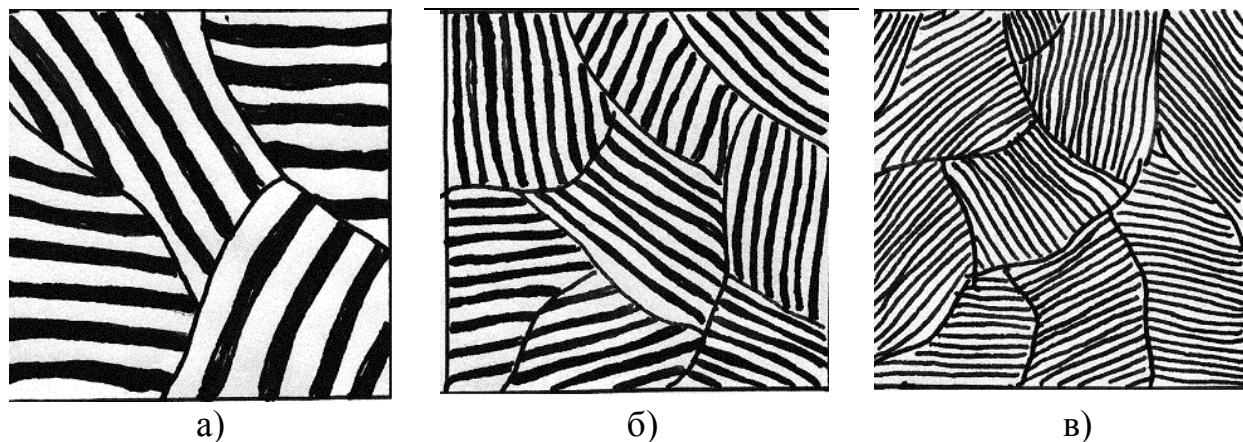


**Рис. 6.2.** Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали:

I – область перлитного превращения; II – область промежуточного (бейнитного) превращения; III – область мартенситного превращения;  
 1 – область устойчивого аустенита; 2 – область переохлажденного аустенита; 3 – область превращения  $A \rightarrow П$ ; 4 – область закончившегося превращения; 5 – область мартенситного превращения;  
 6 – мартенситная область



*Перлит, сорбит и троостит* представляют собой ферритно-цементитные смеси или перлитные структуры различной дисперсности, имеющие пластинчатое строение (рис. 6.3).



**Рис. 6.3.** Схемы структур перлитного превращения:  
а) перлит; б) сорбит; в) троостит

### *Мартенситное превращение*

При больших степенях переохлаждения возрастает термодинамическая неустойчивость аустенита, а скорость диффузии углерода и железа резко падает. При переохлаждении аустенита в эвтектоидной стали до 240 °С подвижность атомов углерода близка к нулю и происходит **бездиффузионное** превращение аустенита. При этом меняется лишь тип решетки  $\gamma \rightarrow \alpha$ , а весь углерод, ранее растворенный в решетке аустенита, остается в решетке феррита, хотя равновесная концентрация углерода в феррите не превышает 0,006 % при комнатной температуре.

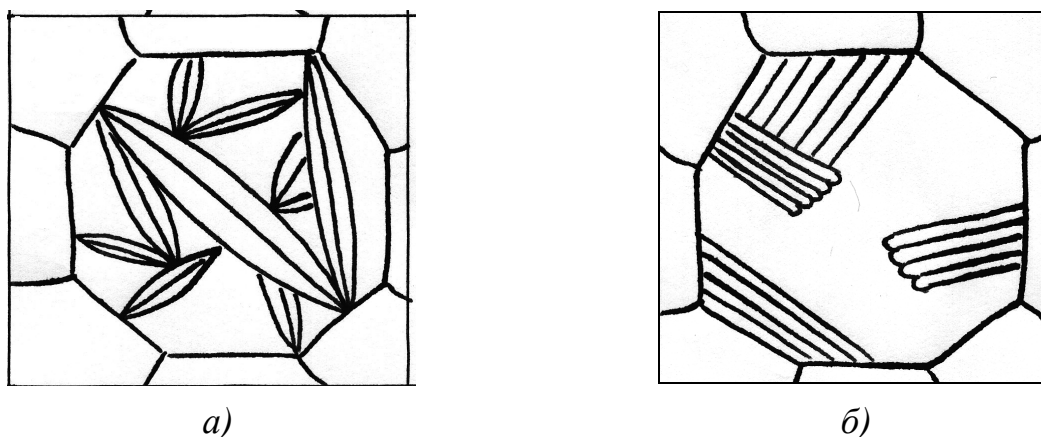
Образуется **мартенсит** – неравновесный пересыщенный твердый раствор внедрения углерода и других элементов в  $\alpha$ -железе, полученный в результате бездиффузионного превращения (перестройки кристаллической решетки  $\gamma$ -железа без изменения массовой доли углерода). Из-за пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажена и вместо кубической приобретает тетрагональную форму, при которой отношение параметров решетки существенно отличается от единицы  $c/a \neq 1$ . Чем больше углерода, тем выше степень тетрагональности мартенсита.

Мартенсит имеет высокую твердость (до HRC 65) и хрупкость. Высокая твердость мартенсита обусловлена искажениями кристаллической решетки, связанными с большими внутренними напряжениями, а также возникновением фазового наклепа за счет увеличения объема при превращении аустенита в мартенсит.

Мартенситное превращение идет в интервале температур начала и конца мартенситного превращения  $M_n$  и  $M_k$  и не доходит до конца. Для эвтектоидной стали оно начинается при  $240\text{ }^\circ\text{C}$  и заканчивается при  $-50\text{ }^\circ\text{C}$ . Однако при этой температуре в стали сохраняется еще некоторое количество непревращенного, так называемого **остаточного аустенита**. Охлаждение ниже температуры  $M_k$  не приводит к его окончательному превращению. Процесс мартенситного превращения происходит с большой скоростью и связан с увеличением объема. В результате возникают большие внутренние напряжения, которые противодействуют полному протеканию процесса превращения, поэтому в стали всегда кроме мартенсита будет и некоторое количество остаточного аустенита.

Минимальная скорость охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит без образования структур перлитного типа, называется **критической скоростью закалки** ( $V_{кр}$ ). При совмещении кривых охлаждения с диаграммой изотермического превращения критическая скорость охлаждения проводится по касательной к С-образной кривой.

Кристаллы мартенсита в зависимости от состава стали, а, следовательно, и от температуры своего образования могут иметь различные морфологию и субструктуру. Различают два типа мартенсита – пластинчатый, образующийся в основном в высокоуглеродистых сталях, и реечный, образующийся в конструкционных углеродистых и легированных сталях (рис. 6.4).



**Рис. 6.4.** Схема пластинчатого (игольчатого) (а) и реечного (массивного) (б) мартенсита

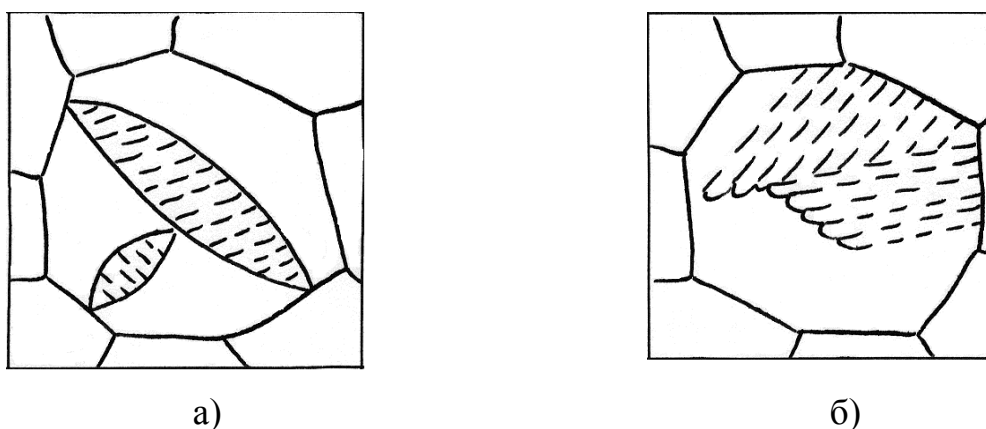
### *Промежуточное (бейнитное) превращение*

**Бейнитное (промежуточное) превращение протекает в температурной области между перлитным и мартенситным превращениями** (рис. 6.2). В результате промежуточного превращения образуется **бейнит**, представляющий собой структуру, состоящую из  $\alpha$ -твердого раствора, претерпевшего мартенситное превращение и несколько пересыщенного углеродом и частицами карбидов.

Бейнитное превращение переохлажденного аустенита сочетает в себе элементы перлитного и мартенситного превращений: диффузионное перераспределение углерода в аустените между продуктами его распада и мартенситное бездиффузионное превращение железа. Бейнитное превращение протекает при температурах, когда самодиффузия железа практически невозможна, а скорость диффузии углерода еще достаточно высока.

В начале бейнитного превращения происходит диффузионное перераспределение углерода в аустените, что приводит к образованию в нем объемов, обогащенных и обедненных углеродом. Участки аустенита, обедненные углеродом, у которых точка  $M_n$  лежит в области температур промежуточного превращения претерпевают  $\gamma \rightarrow \alpha$  - превращение по мартенситному механизму. Образующийся малоуглеродистый мартенсит тут же отпускается с образованием бейнитной структуры. В объеме аустенита, обогащенного углеродом, сначала выделяются карбиды, что приводит к обеднению этих участков углеродом и к протеканию в них мартенситного превращения.

Различают структуру верхнего и нижнего бейнита. **Верхний бейнит**, образующийся обычно в области температур  $\sim 500 - 350$  °С, имеет «перистый» вид, в котором частицы карбидов расположены между пластинами феррита, по границам и внутри пластин. **Нижний бейнит** образуется при температурах от 350 °С до точки  $M_n$  и имеет игольчатое (пластинчатое) строение, частицы карбидов находятся только внутри пластин феррита (рис. 6.5).

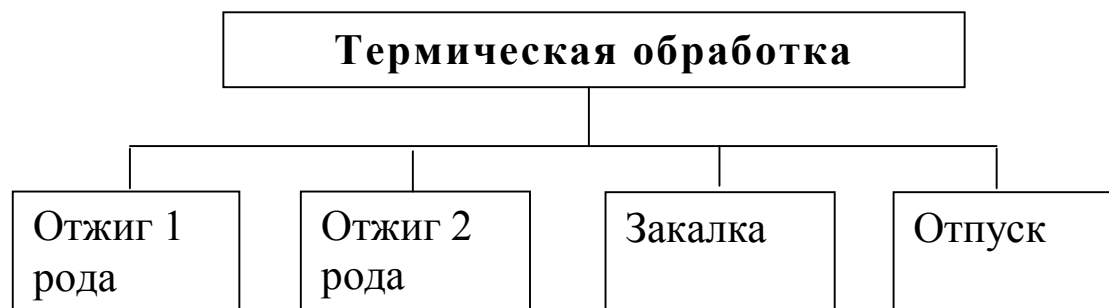


**Рис. 6.5.** Схематическое изображение структуры: а) нижнего бейнита (мартенситоподобной); б) верхнего бейнита (структуры с вытянутыми пластинами феррита и параллельно им вытянутыми карбидными частицами)

Верхний и нижний бейнит отличаются также по механическим свойствам. Образование верхнего бейнита снижает пластичность стали по сравнению с пластичностью, получаемой для продуктов распада аустенита в перлитной области. Твердость и прочность при этом не изменяются. Пониженная пластичность верхнего бейнита связана с выделением сравнительно грубых карбидов по границам ферритных зерен. Нижний бейнит по сравнению с сорбитом и

трооститом имеет более высокую твердость и прочность при сохранении высокой пластичности.

### *Основные виды термической обработки стали (рис. 6.6)*



**Рис. 6.6.** Классификация термической обработки

### *Отжиг*

**Отжиг** – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем медленном охлаждении (обычно вместе с печью), с целью получения более равновесной структуры. Основные цели отжига: снижение твердости, повышение пластичности и вязкости стали, улучшение обрабатываемости, измельчение зерна.

Различают отжиг 1-го и 2-го рода.

**Отжиг 1-го рода** частично или полностью устраняет отклонения от равновесного состояния, возникшие при предыдущей обработке, причем его проведение не обусловлено фазовыми превращениями. В зависимости от того, какие отклонения от равновесного устраняются, различают следующие разновидности отжига 1-го рода: **диффузионный (гомогенизационный)** – для устранения дендритной или внутрикристаллитной ликвации (неоднородности) сталей, **рекристаллизационный** – термическая обработка деформированного сплава для проведения рекристаллизации с целью снятия наклепа перед последующей деформацией; для **снятия внутренних напряжений** (табл. 6.1).

**Отжиг 2-го рода** основан на использовании диффузионных фазовых превращений. Существуют следующие виды отжига 2-го рода: **полный, неполный, сфероидизирующий, изотермический** и **нормализация** (табл. 6.1). Температуры нагрева и схемы различных видов отжига представлены на рис. 6.7 и 6.8.

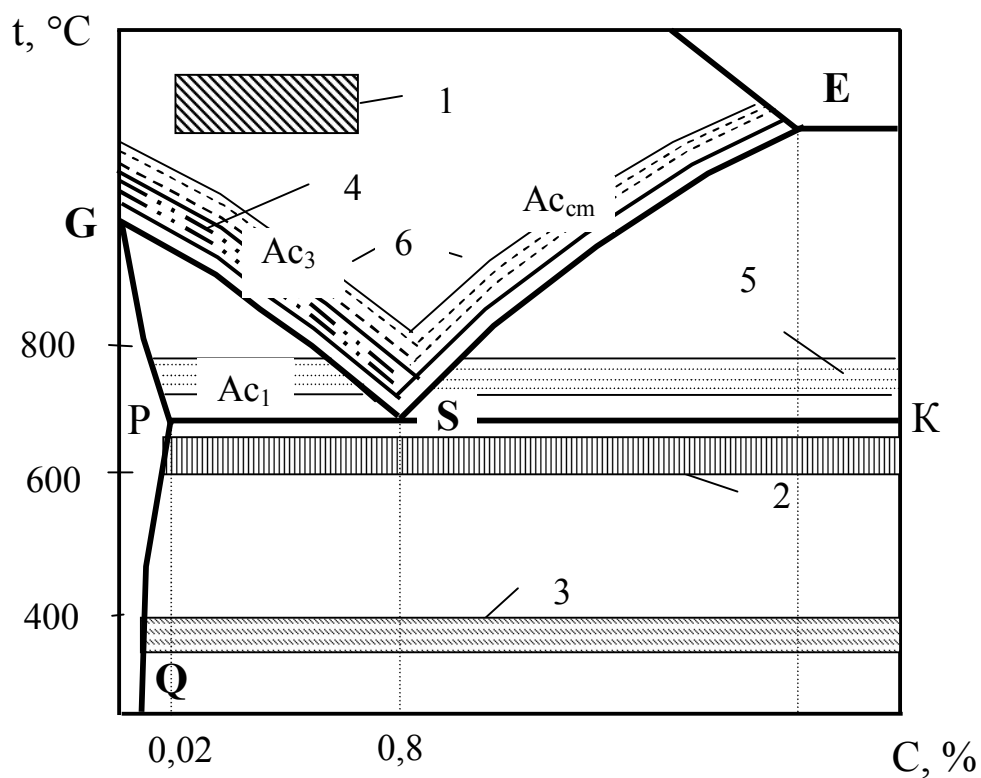
Таблица. 6.1

**Виды отжига**

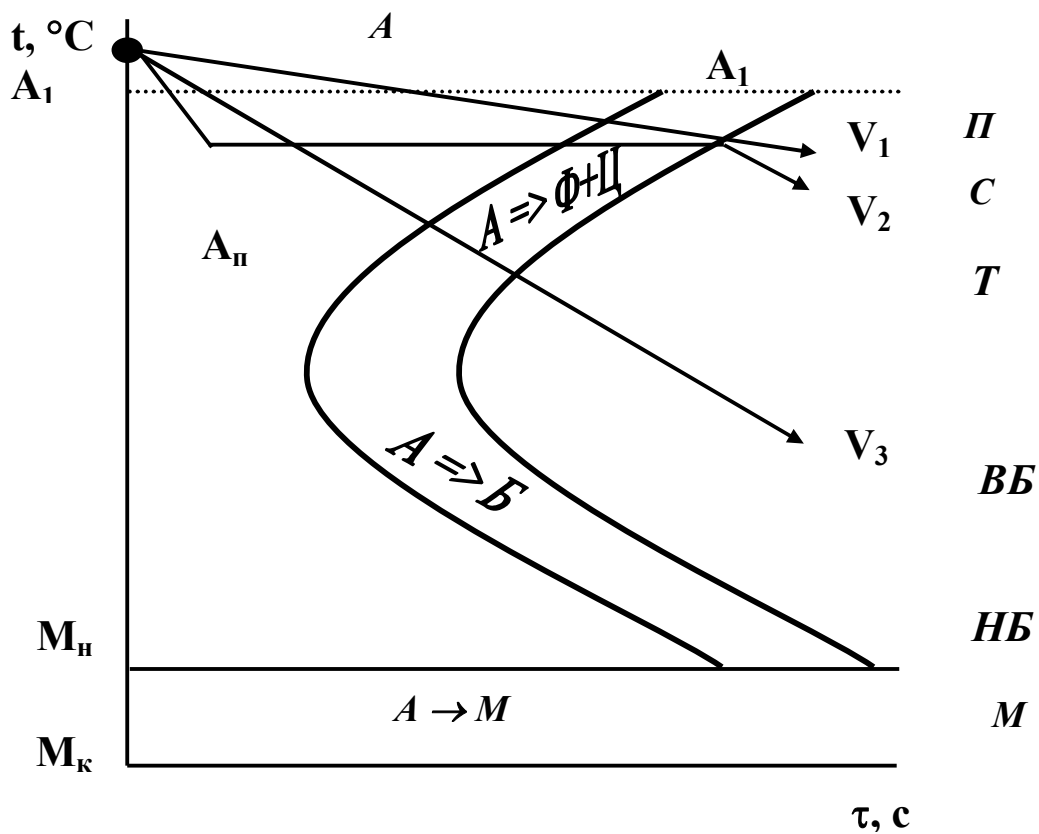
Вид отжига	Характеристика	Температура нагрева	Структура	Примечание
<b>Отжиг 1-го рода</b>				
Диффузионный*	Отжиг с длительной выдержкой при температуре выше 950 °С с целью выравнивания химического состава	1000-1100 °С $A_{c3} + 150 \div 250$ °С	Химически однородная крупнозернистая (видманштеттовая) структура с игольчатым строением феррита	Подвергают отливки и слитки из легированной стали для уменьшения дендритной ликвации
Рекристаллизационный	Отжиг деформированной стали при температуре, выше температуры начала рекристаллизации с целью устранения наклепа и получения равноосного зерна	680-740 °С $0,5 \div 0,6 T_{пл}$	Превращение текстуры в равноосные зерна	Слитки любых сталей после холодной деформации (обработки давлением) для восстановления пластичности
Для снятия внутренних напряжений	Отжиг стали после различных видов металлообработки: сварки, резки, шлифования с целью уменьшения внутренних напряжений (твердости)	650-680 °С $A_{c1} - (15-30)$ °С	Уменьшение внутренних напряжений	Детали точных станков, измерительный инструмент из легированных и углеродистых сталей с высокой точностью размеров
<b>Отжиг 2-го рода</b>				
Полный	Отжиг при температуре выше $A_{c3}$ с целью получения равновесной ненапряженной перлитной структуры после полной перекристаллизации	$A_{c3} + (20 \div 30)$	П +Ф(сетка)	Ликвидация пороков структуры при предыдущей обработке дозвлектоидной стали

Вид отжига	Характеристика	Температура нагрева	Структура	Примечание
Отжиг 2-го рода				
Неполный	Отжиг в интервале температур между $A_{c1}$ и $A_{c3}$ с целью получения перлитной структуры после частичной перекристаллизации	$A_{c1} < T_n < A_{c3}$	П + Ф	Подвергают доэвтектоидные стали с целью снятия внутренних напряжений
Сфероидизирующий	Отжиг при температуре несколько выше $A_{c1}$ с целью сфероидизации карбидов	$A_{c1} < T_n < A_{cm}$	(П + Ц <sub>2</sub> ) П <sub>зерн</sub>	Подвергают заэвтектоидные стали для устранения цементитной сетки и уменьшения твердости и хрупкости
Изотермический	Отжиг, заключающийся в нагреве до температуры выше $A_{c3}$ ( $A_{cm}$ ), выдержке, охлаждении до температуры перлитного превращения и изотермической выдержке до полного распада аустенита	$A_{c3} + (40 \div 50)$ $A_{cm} + (40 \div 50)$	Структуры перлитного превращения: перлит, сорбит, троостит	Подвергают легированные стали для получения однородной ферритно-цементитной смеси. Этот вид отжига экономичнее обычного
Нормализация	Нагрев до температуры выше $A_{c3}$ ( $A_{cm}$ ) с последующим охлаждением на воздухе с целью получения мелкого зерна и равномерного распределения структурных составляющих	$A_{c3} + (40 \div 50)$ $A_{cm} + (40 \div 50)$	Сорбит или троостит	Углеродистые и легированные стали для измельчения зерна и упрочнения. Экономичный способ упрочняющей термообработки

\* Примечание. Для исправления структуры отливки после диффузионного отжига подвергают полному отжигу



**Рис. 6.7.** Температура нагрева при отжиге: 1 – диффузионный отжиг; 2 – рекристаллизационный отжиг; 3 – отжиг для снятия напряжений; 4 – полный отжиг; 5 – неполный отжиг; 6 – нормализация



**Рис. 6.8.** Схемы отжига эвтектоидной стали:  $V_1$  – обычный отжиг;  $V_2$  – изотермический отжиг;  $V_3$  – нормализация

## Закалка

**Закалка** – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше фазовых превращений, выдержке и последующем быстром охлаждении со скоростью, равной или выше критической, с целью получения неравновесной структуры стали - мартенсита.

В результате закалки из аустенита образуется метастабильная структура мартенсита с высокой твердостью.

Результаты закалки во многом зависят от правильного выбора температуры нагрева для закалки. Доэвтектоидные стали для закалки следует нагревать до температуры на 30-50 °С выше  $A_{c3}$  (рис. 6.9). В этом случае сталь с исходной структурой перлит + феррит нагревается до аустенитного состояния и при охлаждении со скоростью больше критической получается мартенсит. *Такая закалка называется полной.*

Если доэвтектоидную сталь нагреть выше  $A_{c1}$ , но ниже  $A_{c3}$ , то в ее структуре после закалки, наряду с мартенситом, будут участки феррита. Присутствие феррита как мягкой составляющей снижает твердость стали после закалки. Такая закалка называется неполной. Следовательно, доэвтектоидные стали обычно подвергают полной закалке.

Заэвтектоидные стали нагревают для закалки на 50-70 °С выше  $A_{c1}$ . При этих температурах в стали, наряду с аустенитом, имеется вторичный цементит. Поэтому после закалки в структуре заэвтектоидных сталей присутствуют мартенсит, цементит и небольшое количество остаточного аустенита. Если заэвтектоидную сталь нагреть для закалки выше  $A_{c_{cm}}$ , то в ее структуре будет крупноигольчатый мартенсит с повышенным количеством остаточного аустенита. Присутствие остаточного аустенита в структуре стали снижает ее твердость. Все заэвтектоидные стали подвергают *неполной закалке* (рис. 6.9).

**Закалочные среды.** Охлаждающая (закалочная) среда должна обеспечить высокую скорость охлаждения при температурах наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита (650-550 °С), чтобы предупредить его распад на ферритно-цементитную смесь.

В интервале температур мартенситного превращения (от  $M_n$  до  $M_k$ ) целесообразно медленное охлаждение с целью уменьшения внутренних напряжений.

В качестве закалочных сред для углеродистых сталей, имеющих высокую критическую скорость охлаждения, применяют воду и различные водные растворы, а для легированных сталей, имеющих небольшую критическую скорость закалки, используют масло и воздух.

**Способы закалки.** Оптимальный способ закалки выбирают в зависимости от состава стали, формы и размеров детали. Различные способы закалки представлены в табл. 6.2 и на рис. 6.10, оптимальные температуры нагрева под закалку на рис. 6.9.



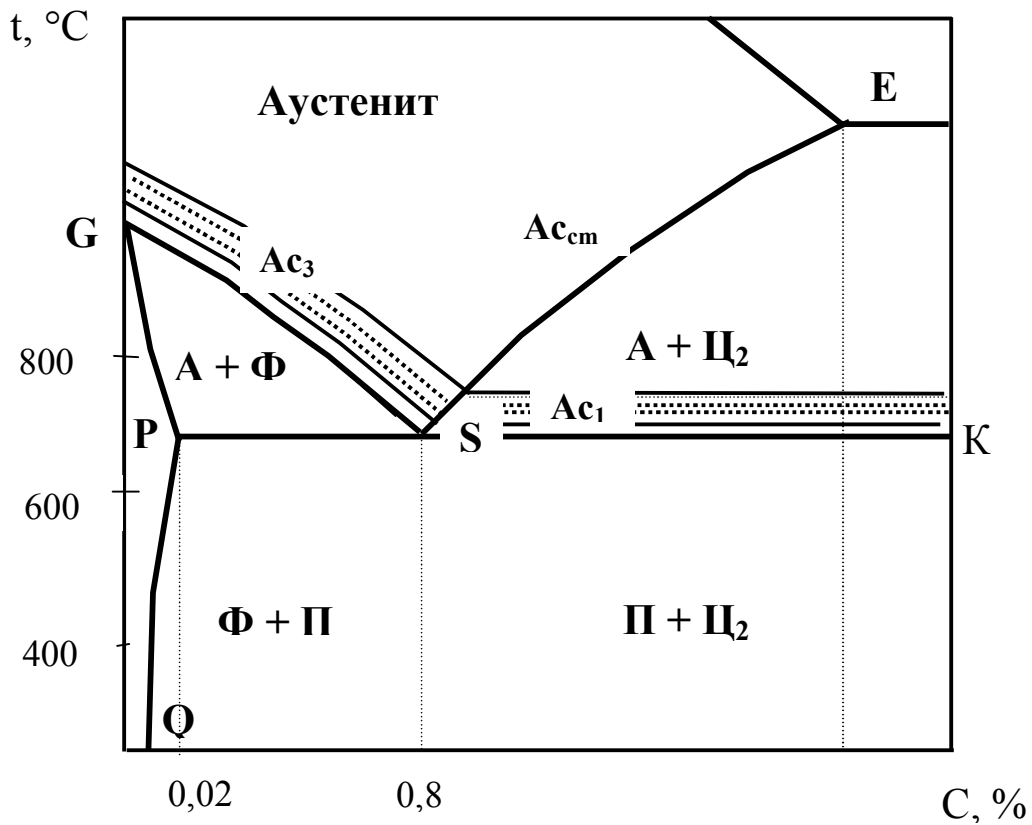


Рис. 6.9. Оптимальные температуры нагрева под закалку углеродистых сталей

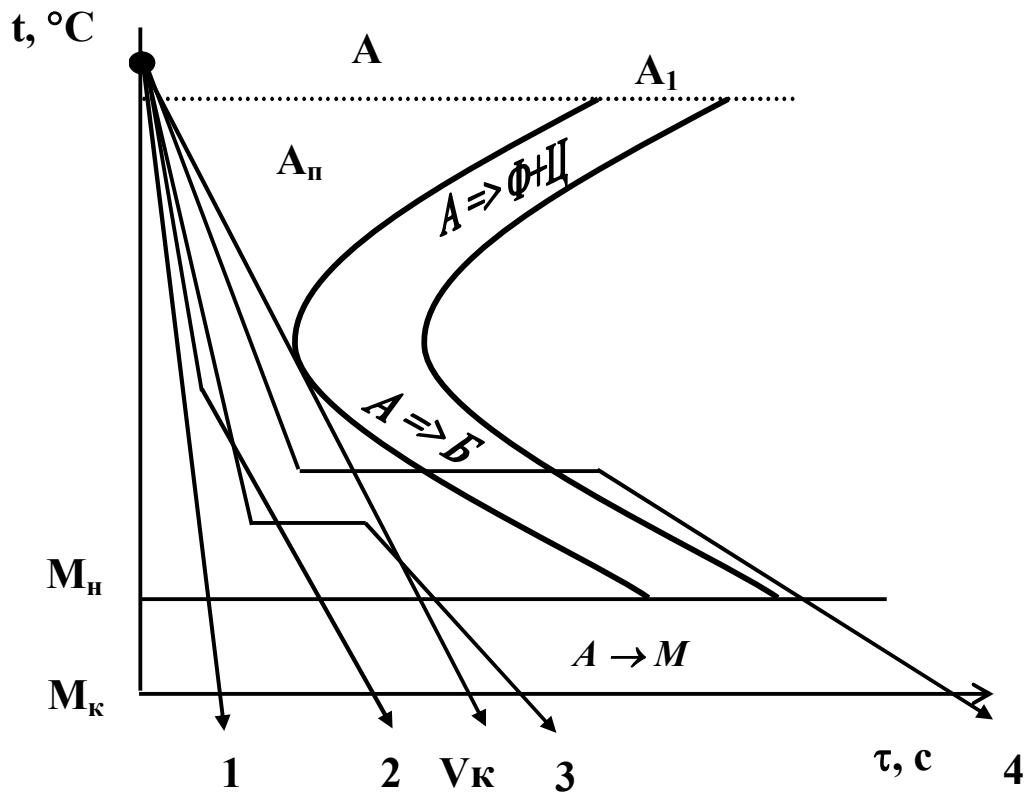


Рис. 6.10. Виды закалки сталей: 1 – непрерывная закалка; 2 – прерывистая; 3 – ступенчатая; 4 - изотермическая

Таблица 6.2.

**Способы закалки**

Способ закалки	Характеристика	Структура	Применение
<b>Полная закалка (температура нагрева <math>A_{c3} + (30 \div 50)^\circ</math>)</b>			
Непрерывная (в одном охладителе)	Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде с целью получения структуры мартенсита	Мартенсит	Применяют для закалки легированных сталей при охлаждении в масле и цементированных углеродистых при охлаждении в воде
Ступенчатая	Закалка с охлаждением в среде с температурой несколько выше $M_n$ , выдержкой без превращения аустенита и последующим охлаждением на воздухе для получения структуры мартенсита	Мартенсит	Применяют для деталей из углеродистых сталей диаметром не более 10-12 мм, для легированных сталей – до 20-30 мм сложной конфигурации с целью уменьшения остаточных напряжений при сохранении высокой твердости
Изотермическая	Закалка с охлаждением в среде с температурой выше $M_n$ , изотермической выдержкой до полного или неполного превращения аустенита и последующим охлаждением для получения структуры бейнита	Нижний бейнит	Применяют для закалки изделий сложной формы из легированных сталей во избежание образования трещин и коробления и для получения высокой прочности и вязкости. Закалочная среда – расплавы солей или щелочей
<b>Неполная закалка (температура нагрева <math>A_{c1} + (30 \div 50)^\circ</math>)</b>			
Непрерывная	Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде с целью получения структуры мартенсита и цементита	Мартенсит и цементит	Применяют для закалки изделий из высокоуглеродистых сталей несложной формы в воде. Изделия диаметром до 6-7 мм закаливают в масле

Способ закалки	Характеристика	Структура	Применение
<b>Неполная закалка (температура нагрева <math>A_{c1} + (30 \div 50)^\circ</math>)</b>			
Прерывистая (в двух средах)	Закалка с охлаждением в двух средах: вначале с большей (вода), затем с меньшей охлаждающей способностью (масло)	Мартенсит и цементит	Основной вид закалки углеродистых инструментальных сталей. Применяется для снижения внутренних напряжений при сохранении высокой твердости
С обработкой холодом	Закалка с продолжением охлаждения до температуры ниже $+20^\circ\text{C}$ , но в интервале $M_n$ - $M_k$ с целью дополнительного превращения остаточного аустенита в мартенсит	Мартенсит и цементит	Подвергают измерительные инструменты, детали подшипников, цементированные детали из легированных сталей с устойчивым аустенитом. Среда охлаждения – жидкий азот и кислород
Ступенчатая	Закалка с охлаждением в среде с температурой несколько выше $M_n$ , выдержкой без превращения аустенита и последующим охлаждением на воздухе для получения структуры мартенсита	Мартенсит и цементит	Применяют для закалки инструментов небольшого сечения из низко- и среднелегированных сталей

## Отпуск

**Отпуск** является заключительной операцией термической обработки сталей. **Отпуск** – это термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали, подвергнутой закалке, до температуры ниже  $A_{c1}$ , выдержке и последующем охлаждении, с целью превращения неравновесной структуры в более равновесную.

Закаленная структура сталей является термодинамически нестабильной, так как имеет искаженную кристаллическую решетку (тетрагональную с отношением осей  $c/a > 1$ ) и повышенную свободную энергию. Поэтому при последующем нагреве закаленная сталь стремится к более стабильному состоянию, т.е. к превращению мартенсита и остаточного аустенита в феррито-цементитную смесь.

Различают три вида отпуска (табл. 6.3).

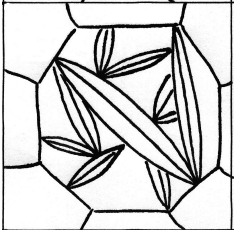
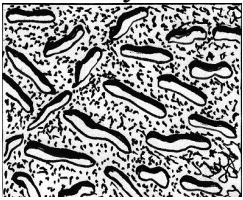
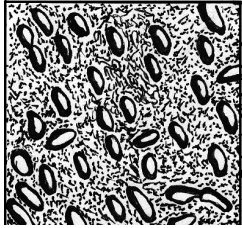
**Низкотемпературный отпуск (низкий)** осуществляется в интервале температур 100-250 °С. При этом отпуске уменьшается степень тетрагональности кристаллической решетки мартенсита вследствие выделения из нее углерода в виде  $\epsilon$ -карбида. Кристаллическая решетка  $\epsilon$ -карбида когерентно связана с решеткой мартенсита, т.е. отдельные кристаллографические плоскости у них являются общими. В связи с когерентной связью твердость стали при этом не снижается, а внутренние напряжения уменьшаются. В результате низкотемпературного отпуска мартенсит закалки превращается в **мартенсит отпуска**, имеющий повышенную ударную вязкость и пластичность по сравнению с мартенситом закалки. При этом сталь сохраняет высокую твердость (рис. 4.10). Поэтому низкотемпературному отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали после поверхностной закалки, цементации и т.д.

**Среднетемпературный отпуск (средний)** проводят при температуре 350-500 °С. При температуре свыше 300 °С из мартенсита выделяется цементит. Образование цементита и его коагуляция (укрупнение) сопровождаются снижением твердости и повышением вязкости и пластичности. При среднетемпературном отпуске образуется дисперсная ферритно-цементитная смесь, имеющая зернистое строение цементита. Эта структура называется **трооститом отпуска**. Средний отпуск средне- и высокоуглеродистых сталей обеспечивает высокие предел упругости, предел выносливости, большую релаксационную стойкость. Поэтому этот вид отпуска используют после закалки рессор, пружин, штампов.

**Высокотемпературный отпуск (высокий)** осуществляется при температуре 500-600 °С. При этом происходит полное снятие внутренних напряжений, коагуляция и сфероидизация частиц цементита. Структуру, возникающую после высокого отпуска, называют **сорбит отпуска**. Сорбит отпуска состоит из ферритной основы, пронизанной сферическими частицами цементита. В результате высокотемпературного отпуска понижается твердость закаленной

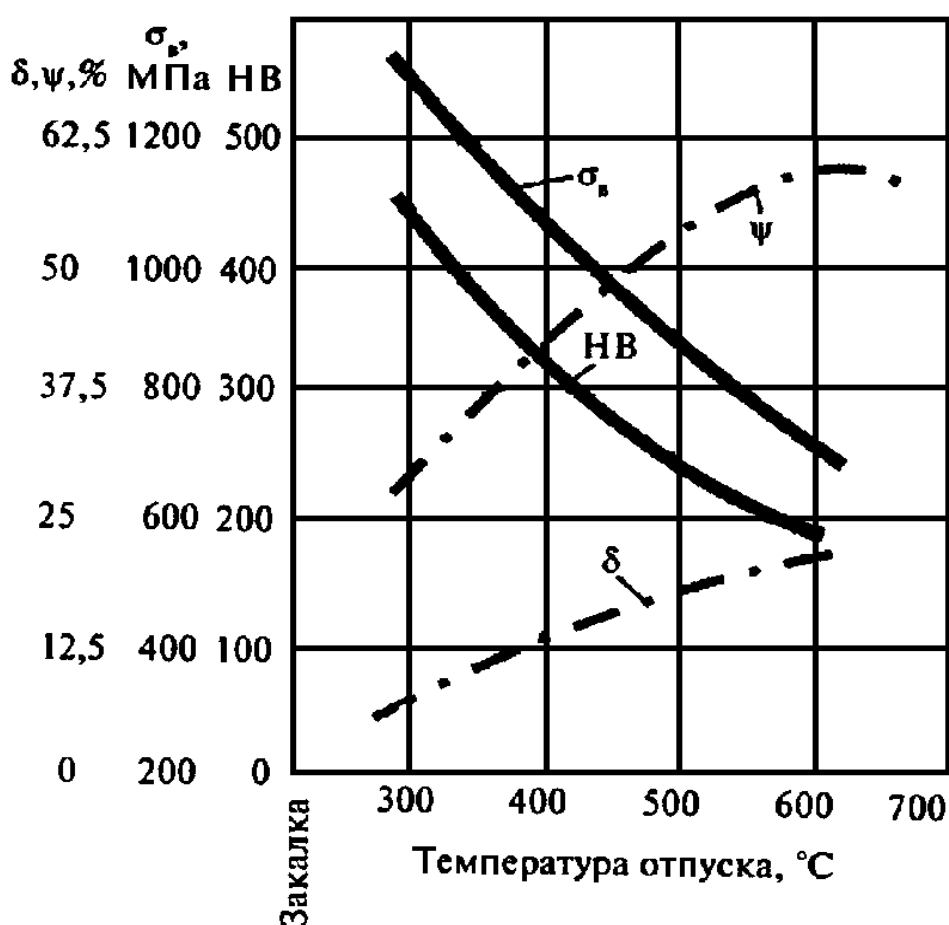
Таблица 6.3

**Виды отпуска**

Вид отпуска	Характеристика	Температура нагрева	Время выдержки	Структура (схема)	Применение
Низкотемпературный (низкий)	Отпуск при температуре ниже 250 °С, с целью получения мартенсита отпуска и уменьшения остаточных напряжений	150-250 °С	2 часа + 1 мин на мм сечения	Мартенсит отпуска 	Режущий и мерительный инструмент из высокоуглеродистых и легированных сталей с высокой твердостью и износостойкостью
Среднетемпературный (средний)	Отпуск в интервале температур 350-500 °С, с целью получения дисперсных продуктов распада мартенсита, некоторого снижения твердости при значительном увеличении предела упругости и выносливости	350-500 °С	20 мин + 1 мин на мм сечения	Троостит отпуска 	Используют для пружинно-рессорных сталей
Высокотемпературный (высокий)	Отпуск в интервале температур 500-680 °С, с целью получения структуры сорбита отпуска, достижения оптимального сочетания прочностных, пластических и вязких свойств.	500-680 °С	10 мин + 1 мин на мм сечения	Сорбит отпуска 	Используют для конструкционных сталей, детали из которых подвергаются действию высоких напряжений и ударным нагрузкам

стали, но значительно увеличиваются пластичность и ударная вязкость (рис. 6.11). Высокому отпуску подвергают детали из конструкционной углеродистой и легированной стали, которые в процессе эксплуатации испытывают значительные ударные и вибрационные нагрузки.

Основным отличием структур типа троостита и сорбита отпуска от троостита и сорбита после нормализации является сфероидальная форма частиц цементита в структурах отпущенной стали, в то время как у структур после распада аустенита при охлаждении форма частиц пластинчатая. При равной прочности сталь со структурой сорбита отпуска по сравнению со сталью, имеющей структуру сорбита после нормализации, имеет более высокие показатели вязкости. В связи с этим термическую обработку, состоящую из закалки и высокотемпературного отпуска на сорбит отпуска, принято называть **улучшением**.



**Рис. 6.11.** Изменение механических свойств эвтектоидной стали в зависимости от температуры отпуска

## 6.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями, необходимыми для выполнения работы, правилами техники безопасности и последовательностью выполнения практической части работы.

2. Назначить режимы термической обработки: температуру нагрева (по диаграмме Fe - Fe<sub>3</sub>C (рис.6.2) для стали выбранной марки), время прогрева и выдержки (по табл. 6.4), охлаждающую среду (по табл.6.5). Занести данные в табл. 6.6.

Таблица 6.4

**Ориентировочная производительность прогрева деталей (образцов) в электропечи в зависимости от величины их сечений и конфигурации**

Температура нагрева, °С	Продолжительность нагрева, мин/мм, при форме сечения деталей		
	круг	квадрат	пластина
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,6	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Таблица 6.5

**Характеристика охлаждающих сред, применяемых при термической обработке углеродистых сталей**

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в °С/с в интервале температур	
	650-550 °С	300-200 °С
С печью	0,2	0,6
Воздух	3	1
Вода 18-20 °С	600	270
Минеральное масло	150	30

3. Провести термическую обработку образцов по выбранным режимам (отжиг, нормализацию, закалку в воде и масле, отпуск закаленных в воде образцов: низкотемпературный, среднетемпературный, высокотемпературный).

Один образец для сравнения оставить без термической обработки (в состоянии поставки).

4. Зачистить окалину на 2-х параллельных поверхностях термически обработанных образцов для ударного изгиба. Измерить твердость, произведя не менее 3-х замеров на каждом образце, и вычислить среднее значение. Занести данные в табл.6.6.

**ВНИМАНИЕ!** Работа на печах, твердомерах, маятниковом копре, разрывной машине, микроскопах проводится только в присутствии преподавателя или лаборанта после ознакомления с порядком работы на них и правилами техники безопасности.

5. Рассмотреть с помощью микроскопа и на альбоме микроструктур металлов и сплавов микрошлифы термообработанных сталей и зарисовать структуру всех образцов (с указанием вида термической обработки, увеличения микроскопа и структурных составляющих).

6. Построить графики зависимости HRC от вида термообработки.

7. Сформулировать выводы по работе, объяснив характер полученных кривых на графиках и связав их со структурой.

8. Выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем, по подбору режимов термической обработки определенной марки стали.

Таблица 6.6

***Структура и твердость термически обработанных образцов***

Материал образцов - сталь...

Клеймо	Термическая обработка				Микро-структура	Твердость HRC
	Вид т/о	T <sub>нагр</sub>	Время выдержки	Среда охлаждения		
1.	без т/о	-	-	-		
2.	отжиг			с печью		
3.	нормализация			воздух		
4.	закалка			масло		
5.	закалка			вода		
6.	закалка + низкий отпуск			вода		
				воздух		
7.	закалка + средний отпуск			вода		
				воздух		
8.	закалка + высокий отпуск			вода		
				воздух		



## 6.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Вычертить диаграмму изотермического превращения в стали (С-образная кривая), указать на ней области перлитного, промежуточного и мартенситного превращений.
3. Дать определения основным видам термического обработки (отжиг, закалка, отпуск), указать цель и назначение каждого вида термической обработки.
4. Вычертить диаграмму состояния сплавов Fe - Fe<sub>3</sub>C («стальной угол»), указать интервалы температур по термообработке.
5. Практическая часть. По результатам исследований заполнить таблицу 6.6.
6. Построить график зависимости твердости от вида термообработки.
7. Выполнить задание в соответствии с вариантом, выданным преподавателем, по определению режимов термической обработки данной марки стали (табл. 6.7):
  - 1) определить процентное содержание углерода в марке стали;
  - 2) определить вид термической обработки для получения указанной структуры;
  - 3) по диаграмме Fe - Fe<sub>3</sub>C определить температуру нагрева под термическую обработку;
  - 4) определить скорость охлаждения и подобрать среду охлаждения (табл. 6.5). Начертить С-образную кривую и указать на ней луч охлаждения для данной термообработки;
  - 5) по полученной структуре определить примерный уровень механических свойств и область применения марки стали после термической обработки.

### Контрольные вопросы

1. Назвать и охарактеризовать основные виды термической обработки сталей.
2. Назвать разновидности отжига сталей и обосновать выбор параметров режимов (с привлечением диаграммы) изотермического распада аустенита.
3. Что такое закалка? Какие процессы происходят при закалке стали?
4. Как производится выбор параметров закалки?
5. Охарактеризовать структуры, получающиеся при охлаждении стали (эвтектоидной, до- и заэвтектоидной) с различными скоростями.
6. Что такое отпуск?
7. Что такое нормализация?

8. Что такое перлитное превращение? Как механические свойства зависят от дисперсности перлита?

9. Что такое мартенситное превращение? Охарактеризовать мартенсит закали в сталях.

10. Как влияет содержание углерода на мартенситное превращение в сталях?

11. Чем объясняется высокая твердость мартенсита?

12. Каковы особенности промежуточного (бейнитного) превращения в сталях?

13. Чем отличается механизм перлитного превращения от промежуточного и мартенситного?

14. Чем отличается по структуре и свойствам перлит от сорбита и троостита? Как получить эти структуры?

15. Охарактеризовать структурные превращения и уровень свойств, получаемых при отпуске стали.

16. Как меняются показатели прочности, пластичности и твердости в зависимости от структуры стали?

Таблица 6.7

### *Варианты заданий по работе*

Номер варианта	Марка стали	Полученная структура	Номер варианта	Марка стали	Полученная структура
1	08	П + Ф	13	65	М
2	10	М	14	70	С
3	15	Т	15	75	Т <sub>от</sub>
4	18	П + Ф	16	У8	М + А <sub>о</sub>
5	20	С	17	У8А	П
6	25	С <sub>от</sub>	18	У9	М <sub>от</sub>
7	30	П + Ф	19	У10	Пзерн
8	35	М	20	У10А	ВБ
9	45	С <sub>от</sub>	21	У11	С + Ц
10	50	Т	22	У12	М + Ц
11	55А	НБ	23	У12А	М <sub>от</sub>
12	60	Т <sub>от</sub>	24	У13	П + Ц

### **Литература**

[4, с. 45-105], [5, с. 152-220], [6, с.223-307], [7, с. 67-83], [8]

Лабораторная работа № 7

## КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 7.1. Цель работы

Изучение маркировки, состава, структуры, свойств и области применения алюминиевых, медных и титановых сплавов.

### 7.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов цветных металлов и сплавов.
4. Атлас микроструктур цветных металлов и сплавов.

### 7.3. Алюминий и его сплавы

Алюминий – металл серебристо-белого цвета с температурой плавления 658 °С. Он не имеет полиморфных превращений и кристаллизуется в решетке ГЦК. Алюминий обладает малой плотностью, хорошей теплопроводностью и электрической проводимостью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью.

Постоянные примеси алюминия – Fe, Si, Cu, Zn, Ni. В зависимости от содержания примесей первичный алюминий подразделяют на три класса (ГОСТ 11069-74 [28]): особой чистоты А999 (0,001 % примесей); высокой чистоты А995, А99, А97, А95 (0,005-0,05 % примесей) и технической чистоты А85, А8, А7, А5, А0 (0,15 – 1 % примесей).

**Технический алюминий**, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листов, профилей, прутков и др.), маркируют *АД0* и *АД1* (ГОСТ 4784-97 [29]). Применяется технический алюминий для элементов конструкций, не несущих нагрузок.

**По способу изготовления изделий** алюминиевые сплавы подразделяются на *литейные и деформируемые*. Деформируемые используют для производства полуфабрикатов (листов, лент, профилей, проволоки и т.д.), литейные – для отливки деталей.

#### 7.3.1. Литейные алюминиевые сплавы

Для литейных алюминиевых сплавов наиболее распространена классификация по химическому составу (Al-Si, Al-Cu, Al-Mg).

**Маркируют литейные алюминиевые сплавы** большой буквой *А*, после которой *большими русскими буквами указывают легирующие элементы, цифры*

после букв показывают содержание элементов в целых процентах. Химический состав и механические свойства некоторых литейных алюминиевых сплавов приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Химический состав и механические свойства литейных алюминиевых сплавов по ГОСТ 1583-93 [30] и наименование марок сплавов по отмененному ГОСТ 2685-75**

Марка сплава ГОСТ 1583-93	Марка сплава ГОСТ 2685-75	Содержание элементов (остальное Al), %				$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
		Si	Cu	Mg	Ni			
АК7	АЛ9	6-8	-	0,2-0,4	-	165	0,5	70
АК9	АЛ4	8-11	-	0,15-0,3	-	180	1	70
АК12	АЛ2	11-13	-	-	-	130	1	70
АК5М4	АК5М4	3,5-6	3-5	-	-	180	0,5	85
АК8М	АЛ32	7,5-8,5	1,0-1,5	-	-	270	3	80
АК12ММГН	АЛ30	11-13	0,8-1,5	0,8-1,3	0,8-1,3	200	0,5	75
АК21М2,5 Н2,5	АК21М 2,5Н2,5	20-22,5	2,2-3,0	-	2,2-2,8	186	-	100
АМ5	АЛ19	-	4,5-5,3	-	-	360	3	100
АМГ10	АЛ27	-	-	9,5-11,5	-	360	15	75

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы **Al-Si (силумины)**. Высокая жидкотекучесть, малая усадка, отсутствие или низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность силуминов объясняются наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов. Сплав АК12 применяют при изготовлении сложных отливок в песчаных формах, кокилях и литьем под давлением. Сплавы АК7 и АК9 содержат магний и отличаются повышенной прочностью. Их применяют для изготовления крупных отливок, работающих в условиях больших нагрузок (картеров, блоков двигателей и т.д.).

### 7.3.2. Деформируемые алюминиевые сплавы

В настоящее время согласно ГОСТ 4784-97 [29] для деформируемых алюминиевых сплавов предложена буквенно-цифровая и цифровая маркировки. При буквенно-цифровой маркировке буквами в начале марки указывают: А – технический алюминий; Д – сплав типа дуралюмин; К – ковошный сплав; АД – сплав системы Al-Mg-Si; В – высокопрочный сплав. Цифрами обозначен условный номер сплава.

В конце маркировки алюминиевых сплавов обычно ставится буква, указывающая вид предварительной обработки сплава. Используются следующие обозначения: М – мягкий, отожженный; Н – нагартованный; Н2 - полунагартованный; Т – закаленный и естественно состаренный; Т1 – закаленный и искусственно состаренный; Т4 – частично закаленный и естественно состаренный; Т5 – частично закаленный и искусственно состаренный.

В цифровой маркировке цифра 1 на первом месте означает, что основой является алюминий. Вторая цифра характеризует химический состав, последние две цифры указывают номер сплава. Последняя цифра несет дополнительную информацию: сплавы, оканчивающиеся на нечетную цифру - деформируемые, на четную – литейные. Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

**Примеры маркировок деформируемых алюминиевых сплавов**

Легирующий элемент	Маркировка		Легирующий элемент	Маркировка	
	буквенно-цифровая	цифровая		буквенно-цифровая	цифровая
Al (чистый)	АД00	1010	Cu, Mg, Mn, Si	АК6 АК8	1360 1380
Mn	АМц	1400	Zn-Mg	-	1911
Mg-Mn	АМг АМг5	1510 1550	Zn-Mg-Cu	В95	1950
Cu-Mg	Д1 Д16 Д18	1100 1160 1187	Cu-Mn	Д20 -	1200 1201

***По способу достижения необходимых эксплуатационных свойств деформируемые сплавы подразделяются на не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.***

1. Сплавы, *не упрочняемые термической обработкой*, используют либо в отожженном, либо в упрочненном наклепом (нагартованном) состоянии (сплавы типа АМц и АМг). Механические свойства их улучшаются в основном за счет легирования твердого раствора и в результате наклепа, но при этом снижается пластичность. Химический состав и механические свойства сплавов, не упрочняемых термической обработкой, представлены в табл. 7.3.

Сплавы типа АМц и АМг применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводов для бензина и масла, сварных баков), а также для заклепок, переборок, корпусов и мачт судов, лифтов, узлов подъемных кранов и др.

2. К сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сложные алюминиевые сплавы на основе тройных и многокомпонентных систем (табл. 7.3).

Таблица 7.3

**Химический состав (ГОСТ 4784-97) и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов**

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Al), %				$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
	Cu	Mg	Mn	Прочие			
АМц	-	-	1-1,6	-	130	20	30
АМг2	-	1,8-2,6	0,2-0,6	-	190	23	45
АД31	-	0,6-1,2	-	0,2-0,6 Si	330	17	100
АД35	-	0,6-1,2	0,4-1,0	0,7-1,0 Si	340	13	95
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	400	20	95
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	440	18	105
В95	1,4-2	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25Cr	540	8	150
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2 Si	400	12	100
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1	0,6-1,2 Si	480	9	135

Применение алюминия и его сплавов наиболее эффективно при возведении легких конструкций зданий и сооружений, конструкций, подверженных действию агрессивных и коррозионных сред, а также конструкций и изделий, к внешнему виду которых предъявляют повышенные требования (облицовочные панели торговых зданий, элементы выставочных павильонов, окна, перегородки, перила, водосточные трубы и желоба, тенты и навесы и т.д.)

В соответствии со СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции» [31] выбор марки и состояния (вида обработки) алюминиевых сплавов производят с учетом характера и интенсивности нагрузок, напряженного состояния, расчетных температур, требуемых механических свойств и коррозионной стойкости конструкций. В зависимости от уровня перечисленных выше требований конструкции зданий и сооружений разделяются на 4 группы.

*Группа 1.* Ограждающие конструкции – оконные и дверные заполнения, подвесные потолки, перегородки, витражи. Для этой группы рекомендуются сплавы марок АД1М; АМцМ; АМг2М; АМг2Н2; АД31Т, АД31Т1, АД31Т4, АД35Т5, 1935.

*Группа 2.* Ограждающие конструкции – кровельные и стеновые панели и др. Для этой группы рекомендуются сплавы марок АМг2М, АМг2Н2, АД31Т, АД31Т4, АД31Т5, 1915, 1915Т, 1935Т.

*Группа 3.* Несущие сварные конструкции (фермы, колонны, прогоны покрытий, пространственные решетчатые покрытия, покрытия больших пролетов, сборно-разборные конструкции каркасов зданий, блоки покрытий и др.) Для

этой группы рекомендуются сплавы марок АМг2М, АМг2Н2, АД31Т, АД331Т4, 1935Т, 1915, 1915Т.

*Группа 4.* Клепанные конструкции, относящиеся к группе 3, а также элементы конструкций, не имеющих сварных соединений. Для этой группы рекомендуются сплавы марок АМг2Н2, АД31Т, АД31Т1, АД31Т4, 1935Т, 1925, 1915, 1915Т.

### *Медь и ее сплавы*

Медь – металл красновато-розового цвета с температурой плавления 1083 °С, имеющий кристаллическую ГЦК решетку, без полиморфных превращений. Медь менее тугоплавка, чем железо, но имеет большую плотность и характеризуется высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, пластичностью и коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, пресной и морской воде, едких щелочах, органических кислотах и других агрессивных средах. По ГОСТ 859-2001 [32] в зависимости от содержания примесей различают следующие марки меди: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,97 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu).

Медь – дорогостоящий и дефицитный металл, имеет низкие литейные свойства: большую усадку, высокую склонность к поглощению газов и образованию трещин, низкую жидкотекучесть. Поэтому чистую медь используют редко, а чаще применяют медные сплавы. Медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы и медно-никелевые (рис. 7.1).



**Рис. 7.1.** Классификация медных сплавов

## Латуни

*Латунями* называют двойные и многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых главной добавкой является **цинк**, причем его содержание может меняться до 49 %. По технологическим свойствам латуни подразделяют на литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением).

Латуни маркируют буквой **Л**. **В деформируемых латунях, не содержащих кроме меди и цинка других элементов (двухкомпонентные латуни), за буквой Л ставится число, показывающее среднее содержание меди (Л90, Л70). В многокомпонентных деформируемых латунях после Л ставятся буквы – символы элементов (так же как в алюминиевых сплавах), а затем числа, указывающие содержание меди и каждого легирующего элемента.** Концентрация цинка определяется по разности. ЛАН59-3-2 содержит 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni и 36 % Zn.

Обозначения легирующих элементов в латунях (и других цветных сплавов) отличается от обозначения таковых в сталях и чугунах. Поэтому при расшифровке марок латуней пользуйтесь приложением. Например, латунь ЛАН59-3-2 содержит 59 %Cu, 3 % Al, 2 %Ni (остальное Zn).

**В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его.** Содержание меди определяют по разности. Например, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 32 % Zn, 6 % Al, 3 % Fe, 2 % Mn (остальное Cu).

В многокомпонентных латунях добавки алюминия, олова, никеля, марганца, железа и кремния повышают прочность, твердость, коррозионную стойкость и литейные свойства. Свинец улучшает обрабатываемость резанием. Хорошие технологические и широкий диапазон потребительских свойств, красивый цвет и сравнительная дешевизна латуней делают их наиболее распространенными медными сплавами.

## Бронзы

*В отличие от латуней бронзами* называют все сплавы меди, не содержащие в своем составе цинка, а также сплавы, в которых цинк не является основным легирующим компонентом. Бронзы в свою очередь делят на оловянные и безоловянные. Бронзы обозначают буквами **Бр**, за которыми ставятся буквы и цифры (ГОСТ 5017-74 [33]). **В марках деформируемых бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов, а затем числа, указывающие их содержание.** Например: БрАЖ9-4 содержит 9 % Al, 4 % Fe, остальное Cu. **В марках литейных бронз после каждой буквы указывается содержание этого легирующего элемента.** Например: БрО6Ц6С3 содержит 6 % Sn, 6 %Zn, 3 % Pb, остальное – Cu.



Бронзы используются в качестве коррозионно-стойких, антифрикционных и пружинных материалов.

### ***Медно-никелевые сплавы***

**Медно-никелевыми** называют **сплавы** на основе меди, в которых легирующим элементом, определяющим основные свойства сплава, является никель. Добавка никеля к меди увеличивает твердость, прочность, электросопротивление и повышает коррозионную стойкость во многих средах.

Медно-никелевые сплавы выделены в особую группу (ГОСТ 492-73 [34]). По назначению их делят на конструкционные (мельхиор, нейзильбер, куниаль) и электротехнические (копель, константан, манганин).

**Маркировка медно-никелевых сплавов образована из букв МН и цифры, указывающей суммарное содержание Ni + Co. Если сплав легируется, в марке указывают введенные элементы и их содержание через дефисы в порядке упоминания.** Например: МН19 – медно-никелевый сплав, содержащий 19 % (Ni + Co), остальное – медь.

### ***Титан и сплавы на его основе***

Титан – металл серого цвета. Температура плавления титана 1668 °С. Титан имеет две полиморфные модификации: низкотемпературная (до 882 °С) модификация  $\alpha$ -титана характеризуется ГП решеткой, высокотемпературная модификация имеет ОЦК решетку. Полиморфное превращение (882 °С) при медленном охлаждении происходит по нормальному механизму с образованием полиэдрической структуры, а при быстром охлаждении – по мартенситному механизму с образованием игольчатой структуры.

В соответствии с общепринятой системой классификации по уровню легирования и фазовому составу сплавы разделены на 6 следующих групп:

- 1) технический титан (в том числе с палладием);
- 2)  $\alpha$  - сплавы (не содержащие  $\beta$ -фазы);
- 3) псевдо- $\alpha$  - сплавы (с количеством  $\beta$ -фазы не более 5 %);
- 4)  $\alpha+\beta$  - сплавы (с более значительным количеством  $\beta$ -фазы);
- 5) псевдо-  $\beta$ - сплавы (способные закаливаться на 100 %  $\beta$ -фазы);
- 6)  $\beta$ - сплавы (не содержащие  $\alpha$  - фазы в равновесном состоянии).

**Для большинства сплавов марка начинается с букв «ВТ», «ОТ», «ПТ»; первая означает название организации – разработчика сплава, вторая – слово «титан», далее порядковый номер сплава.**

**Технический титан** (ГОСТ 19807-91 [35]) маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ1-00 (сумма примесей  $\leq 0,10$  %), ВТ1-0 (сумма примесей  $\leq 0,30$  %). Отличительными особенностями титана и его сплавов являются

хорошие механические свойства, малая плотность, высокая удельная прочность, хорошие технологические свойства и отличная коррозионная стойкость.

Сплавы на основе титана получили значительно большее применение, чем технический титан. Легирование титана Fe, Al, Mn, Cr, Sn, V, Si повышает его прочность, но одновременно снижает пластичность и вязкость. Жаропрочность повышают Al, Zr, Mo, а коррозионную стойкость в растворах кислот – Mo, Zr, Nb, Ta, Pd. *По технологии изготовления титановые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные.* Основным легирующим элементом в титановых сплавах является алюминий.

**Литейные титановые сплавы.** Титановые сплавы имеют хорошие литейные свойства: высокую жидкотекучесть, хорошую плотность отливки, малую склонность к образованию горячих трещин, небольшую усадку. К недостаткам относятся большая склонность к поглощению газов и высокая активность при взаимодействии с формовочными материалами. Поэтому их плавку и разливку ведут в вакууме или в среде нейтральных газов. Для фасонного литья применяют сплавы аналогичные по химическому составу деформируемым (BT5Л, BT3-1Л, BT14Л), а также специальные литейные сплавы. Литейные титановые сплавы обладают более низкими механическими свойствами, чем деформируемые.

Титан и его сплавы применяются в авиационной и ракетной технике, энергомашиностроении, для изготовления оборудования для химической и пищевой промышленности, для декоративной отделки памятников. Также титановые сплавы могут найти применение для крупногабаритных резервуаров, газгольдеров и других конструкций, сооружаемых в районах с низкими отрицательными температурами, для хранения и транспортировки высокоагрессивных сред.

#### 7.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и маркировку алюминиевых, медных и титановых сплавов.
2. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры цветных металлов и сплавов. Определить твердость предложенных образцов.

#### 7.5. Содержание отчета

1. Указать основные принципы маркировки алюминиевых сплавов. Привести марки литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, назвать их механические свойства и область применения.

2. Дать определение латуней. Указать основные особенности маркировки деформируемых и литейных латуней. Указать химический состав, свойства и область применения латуней

3. Дать определение бронз. Указать основные особенности маркировки литейных и деформируемых бронз. Назвать марки оловянных и безоловянных бронз, их свойства, область применения.

4. Дать определение медно-никелевых сплавов. Указать особенности маркировки, области применения.

5. Дать классификацию титановых сплавов по структуре. Опишите характерные свойства титановых сплавов и область их применения.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы характерные физические и механические свойства алюминия и где он применяется?

2. На какие группы делятся алюминиевые сплавы в зависимости от технологии их обработки?

3. Где применяются и как упрочняются сплавы АМц и АМг?

4. Как маркируются деформируемые алюминиевые сплавы?

5. Чем отличаются латуни от бронз? Как маркируются латуни и бронзы?

6. Какие Вы знаете безоловянные бронзы? Укажите их состав (марки), свойства и применение.

7. Каковы характерные физические и механические свойства титана и где он применяется?

8. Опишите характерные свойства титановых сплавов и область их применения.

### **Литература**

[28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35]

### **Заключение**

Лабораторный практикум ориентирован на формирование металлургических и технологических знаний, умений и навыков для выполнения студентами лабораторных и контрольных работ по курсам «Конструкционные металлы и сплавы», «Материаловедение и технология конструкционных материалов»

Не подменяя специальную техническую и учебную литературу, пособие обеспечит студентов необходимыми методическими указаниями, рекомендациями, нормативными материалами для выполнения лабораторного практикума по курсам «Конструкционные металлы и сплавы», «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Изучение представленного в пособии материала будет способствовать получению и закреплению практических навыков по выбору металлов и сплавов при проектировании строительных конструкций и подбору режимов термообработки для них.

## Библиографический список

1. Болдырев, А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов: учеб./ А.М. Болдырев, А.С. Орлов - М.: Изд-во АСВ, 1994. – 432 с.
2. Гуляев, А.П. Металловедение: учеб. для вузов / А.П. Гуляев - М.: Металлургия, 1986.- 840 с.
3. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учеб./ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева, 3-е изд. перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
4. Мальцев, М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1970. - 364 с.
5. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
6. Солнцев, Ю.П. Металловедение и технология металлов: учеб. для вузов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демянцевич и др. - М.: Металлургия, 1988. - 512 с.
7. Материаловедение: учеб. пособие для вузов / под ред. Л.С. Ляховича. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 224 с.
8. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1994. – 25 с.
9. ГОСТ 535-88. Прокат сортовой и фасонный из сталей углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 19 с.
10. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
11. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1971. – 30 с.
12. ГОСТ 1435-99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1999.– 22 с.
13. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2000. – 18 с.
14. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с.
15. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
16. ГОСТ 7293-85. Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
17. ГОСТ 1215-79. Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1979. – 14 с.
18. ГОСТ 1585-85. Чугун антифрикционный для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.
19. ГОСТ 7769-82. Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
20. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 45 с.
21. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. – М., ЦИТП Госстроя СССР, 1990.

22. ГОСТ 5781-82 (Измененная редакция. Попр. 1994). Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
23. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
24. ГОСТ 6727-80. Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
25. ГОСТ 7348-81 (СТ СЭВ 5728-86). Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
26. ГОСТ 13840-68. Канаты стальные арматурные 1х7. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1968.
27. ГОСТ 3063-80. Канаты стальные сортамент. Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1×19(1+6+12). – М.: Изд-во стандартов, 1980.
28. ГОСТ 11069-74. Алюминий первичный. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1974. – 13 с.
29. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы деформируемые. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1997. – 14 с.
30. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1993. – 32 с.
31. СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции». – М., ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
32. ГОСТ 859-2001. Медь. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
33. ГОСТ 5017-74. Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1974. – 18 с.
34. ГОСТ 492-73. Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки. . - М.: Изд-во стандартов, 1973. – 24 с.
35. ГОСТ 19807-91. Технический титан. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1991.

**Сокращенные наименования элементов в обозначениях металлов и сплавов**

Химический элемент	Знак	Обозначение в марках металлов и сплавов		Химический элемент	Знак	Обозначение в марках металлов и сплавов	
		черных	цветных			черных	цветных
Азот	N	А (в середине марки)		Неодим	Nd		Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	Н	Н
Барий	Ba		Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллий	Be	Л	Б	Олово	Sn		О
Бор	B	Р		Осмий	Os		Ос
Ванадий	V	Ф	Вам	Палладий	Pd		Пд
Висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt		Пл
Вольфрам	W	В		Празеодим	Pr		Пр
Гафний	Hf		Гф	Ртуть	Hg		Р
Германий	Ge		Г	Рутений	Ru		Ру
Диспозий	Dy		ДИМ	Свинец	Pb	С (в автоматных сталях)	С
Европий	Eu		Ев	Селен	Se	Е	СТ
Железо	Fe		Ж	Серебро	Ag		Ср
Золото	Au		Зл	Скандий	Sc		Скм
Индий	In		Ин	Сурьма	Sb		Су
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb		Том
Кальций	Ca	Ц (в автоматных сталях)		Титан	Ti	Т	ТПД
Кобальт	Co	К	Ко	Тулий	Tu		ТУМ
Кремний	Si	С	К	Углерод	C	У	
Лантан	La		Ла	Фосфор	P	П	Ф
Литий	Li		Лэ	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Магний	Mg	Ш	Мг	Цинк	Zn		Ц
Марганец	Mn	Г	Мц	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Медь	Cu	Д	М	Эрбий	Er		Эрм
Молибден	Mo	М		Редкоземельные		Ч	

## Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Макро- и микроанализ металлов и сплавов .....	4
Лабораторная работа № 2. Диаграмма состояния сплавов системы «железо-цементит».....	17
Лабораторная работа № 3. Классификация и маркировка железоуглеродистых сплавов.....	25
Лабораторная работа № 4. Строительные стали.....	38
Лабораторная работа № 5. Арматурные стали. Проволочная арматура. Стальные канаты.....	43
Лабораторная работа № 6. Термическая обработка углеродистых сталей.....	53
Лабораторная работа № 7. Классификация и маркировка цветных сплавов.....	75
Заключение .....	83
Библиографический список .....	84
Приложение. Сокращенные наименования элементов в обозначениях металлов и сплавов.....	86

Учебное издание

**Орлов Александр Семенович  
Рубцова Елена Григорьевна  
Зиброва Ирина Юрьевна**

**Конструкционные металлы и сплавы.  
Технология конструкционных материалов**

*Лабораторный практикум*

*для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров  
270800 «Строительство», 131000 «Нефтегазовое дело», 140100 «Теплоэнергетика  
и теплотехника»; специалистов 271501 «Строительство железных дорог, мостов  
и транспортных тоннелей», 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений»*

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать 17.04.2014. Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 5,5.  
Усл.-печ. л. 5,6. . Бумага писчая. Тираж 375 экз. Заказ №164.

---

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной  
литературы и учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84