

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

И.Н. Петровнина, И.И. Романенко

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПРАКТИКУМ

Издание 2-е, дополненное

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области
транспортных машин и транспортно-технологических комплексов
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по направлениям подготовки бакалавров
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
и «Технология транспортных процессов»

Пенза 2013

УДК 621.7.001.5 (076.5)

ББК 34.2я 73

ПЗ0

Рецензенты: кафедра «Детали машин» Пензенской государственной сельскохозяйственной академии (зам. зав. кафедрой кандидат технических наук, доцент А.В. Шуков); кандидат технических наук, профессор кафедры «Техническое управление качеством» Пензенской государственной технологической академии В.А. Худяков

Петровнина И.Н.

ПЗ0

Материаловедение: Практикум: учеб. пособие / И.Н. Петровнина, И.И. Романенко. – 2-е изд., доп. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 124 с.

ISBN 978-5-9282-0899-8

Приведены теоретические сведения и изложен порядок выполнения лабораторных работ по темам «Структурные методы исследования металлов», «Механические свойства металлов», «Основы теории сплавов», «Железоуглеродистые сплавы», «Термическая обработка стали», «Легированные стали», «Пластмассы» дисциплины «Материаловедение».

Практикум подготовлен на кафедре «Механизация и автоматизация производства» и предназначен для использования студентами, обучающимися по направлениям подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 190700 «Технология транспортных процессов».

ISBN 978-5-9282-0899-8

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Петровнина И.Н., Романенко И.И., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум по дисциплине «Материаловедение» разработан в соответствии с требованиями образовательного стандарта, учебного плана и рабочей программы курса и предназначен для использования студентами при подготовке к лабораторным работам и их выполнении.

В данном учебном пособии, представляющем собой второе издание практикума, углублены понятия, касающиеся учебного материала по изучению структурных методов исследования строения металлов, а также приведены новые лабораторные работы по темам: «Механические свойства металлов и сплавов» и «Термическая обработка стали».

Настоящее издание содержит сведения о структурных методах анализа металлов и сплавов, о диаграммах состояния сплавов и способе их построения, о типовых режимах термической обработки и закономерностях их влияния на структуру и свойства сталей, об основных технических материалах и т.д.

Описание каждой лабораторной работы включает: цель работы; краткие сведения из теории, необходимые для выполнения работы; методику исследований; используемое оборудование и материалы; порядок выполнения работы и вопросы для самоконтроля.

При подготовке к лабораторным занятиям кроме данного издания рекомендуется использовать конспект лекций и литературу, приведенную в конце пособия.

Лабораторные работы № 1, 4, 5, 6, 8, 9 написаны И.Н. Петровниной, лабораторные работы № 2, 3, 7, 10 – И.И. Романенко.

Авторы выражают благодарность рецензентам – доценту В.А. Чугуну и профессору В.А. Худякову – за высказанные замечания по улучшению содержания практикума.

ВВЕДЕНИЕ

В результате изучения курса «Материаловедение» студент должен знать современные технические материалы и области их применения; строение и свойства материалов; сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации изделий и способы получения необходимых свойств материалов.

Студент должен уметь устанавливать зависимость между составом, строением и свойствами материалов, оценивать поведение материалов деталей и инструментов под воздействием различных эксплуатационных факторов; выбирать материал изделия, а также обоснованно назначать способы обработки материалов с целью получения структуры и свойств, обеспечивающих высокую надежность и работоспособность изделий.

Кроме того, студент должен иметь практические навыки исследования строения и свойств различных материалов, используемых для изготовления изделий различного назначения.

Лабораторные занятия по дисциплине «Материаловедение» проводятся с целью:

- углубления и закрепления теоретических знаний, полученных студентами на лекционных занятиях и в процессе самостоятельной работы над учебной литературой;

- обучения студентов методам экспериментальных и научных исследований свойств материалов;

- получения практических навыков работы с лабораторным оборудованием и приборами;

- приобретения навыков научного анализа и обобщения полученных результатов.

Настоящее издание позволит студентам составить представление о строении и свойствах основных конструкционных и инструментальных металлических и неметаллических материалов, технологическом процессе термической обработки сталей и влиянии его параметров на структуру и свойства стали, а также некоторых методах исследования строения и свойств материалов. Полученные знания и навыки являются базой для изучения других общепрофессиональных и специальных дисциплин и дают возможность компетентно выполнять курсовые и дипломные работы.

Лабораторная работа № 1

МАКРОАНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомиться с методикой проведения макроструктурного анализа, получить практические навыки приготовления макрошлифов и изучить характерные виды макроструктур на образцах железоуглеродистых сплавов.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Комплект образцов углеродистой стали или чугуна.
2. Шлифовальная шкурка различных номеров зернистости размером 200×300 мм.
3. Вата.
4. Листы фильтровальной бумаги размером 40×50 мм.
5. Технический спирт или бензол.
6. Реактив состава: 85 г CuCl_2 + 53 г NH_4Cl + 1000 cm^3 H_2O .
7. 5%-й водный раствор H_2SO_4 .
8. 3%-й содовый раствор.
9. 20%-й водный раствор гипосульфита.
10. Листы глянцевой бромосеребряной фотобумаги размером 30×40 мм.
11. Лупы.
12. Набор фотографий макроструктур.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ МАКРОШЛИФОВ ДЛЯ МАКРОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Макроскопический анализ (макроанализ) металлов и сплавов заключается в исследовании их строения невооруженным глазом или с помощью небольших увеличений (до 30 раз).

Макроанализ применяют для выявления: формы и распределения зерен в литом металле; расположения волокон (деформированных зерен) в поковках и штамповках; химической и структурной неоднородности; дефектов, нарушающих сплошность металла (трещины, раковины и т.д.); качества сварного соединения; характера разрушения детали (по виду излома).

При макроанализе проводится исследование макроструктуры. *Макроструктурой* называется строение металла, наблюдаемое невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 раз) с помощью лупы.

Макроструктура может быть исследована непосредственно на поверхности заготовки или детали; в изломе или на вырезанном образ-

це после его шлифования и травления специальным реактивом. Шлифованный и протравленный образец называют *макрошлифом*.

Образец для макроанализа вырезают на металлорежущем станке или ножовкой, одну из плоских поверхностей которого выравнивают напильником или на плоскошлифовальной станке. Затем образец шлифуют вручную или на шлифовально-полировальной станке шлифовальной шкуркой различной зернистости.

Шлифование начинают шкуркой с наиболее крупным абразивным зерном, затем постепенно переходят на шлифование шкуркой с более мелким зерном. При переходе с одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90° .

После шлифования образцы обезжиривают и подвергают травлению химическими реактивами (растворами кислот и щелочей), которые выбирают в зависимости от состава сплава и цели исследования. Травление большинством реактивов осуществляют, погружая в них образец. Реактив активно взаимодействует с участками, где имеются дефекты или неметаллические включения, и протравливает их более сильно. Поверхность макрошлифа получается рельефной (рис. 1). Протравленный макрошлиф промывают водой, обрабатывают спиртом и высушивают для предотвращения коррозии.



Рис.1. Макроструктура металла после глубокого травления (дендритное строение)

ВЫЯВЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЛИТОЙ СТАЛИ

Кристаллы (зерна) литого металла имеют в большинстве случаев древовидную или разветвленную форму. Такие кристаллы называют *дендритами*.

Рост зерна происходит неравномерно (рис. 2, *a*). Максимальная скорость роста кристаллов наблюдается по тем плоскостям и направлениям, которые имеют наибольшую плотность упаковки атомов. В результате вырастают длинные ветви, которые называют осями первого порядка (кристаллизация наиболее тугоплавких элементов сплава). На осях первого порядка появляются и начинают расти ветви второго порядка, от которых ответвляются оси третьего порядка и т.д. Кристаллизация завершается затвердеванием междендритного пространства (самые легкоплавкие элементы сплава).

Типичная структура слитка сплавов (рис. 2, *б*) состоит из трех зон:

1 – зоны мелких равноосных кристаллов, образующихся при быстром переохлаждении сплава, соприкасающегося с холодными стенками формы;

2 – зоны столбчатых кристаллов, ориентированных вдоль направления теплоотвода, т.е. нормально к стенкам формы;

3 – зоны равноосных кристаллов больших размеров.

Строение литой стали (дендритной структуры) выявляют травлением отшлифованного образца в реактиве состава: 85 г хлорной меди, 53 г хлористого аммония в 1000 см³ воды.

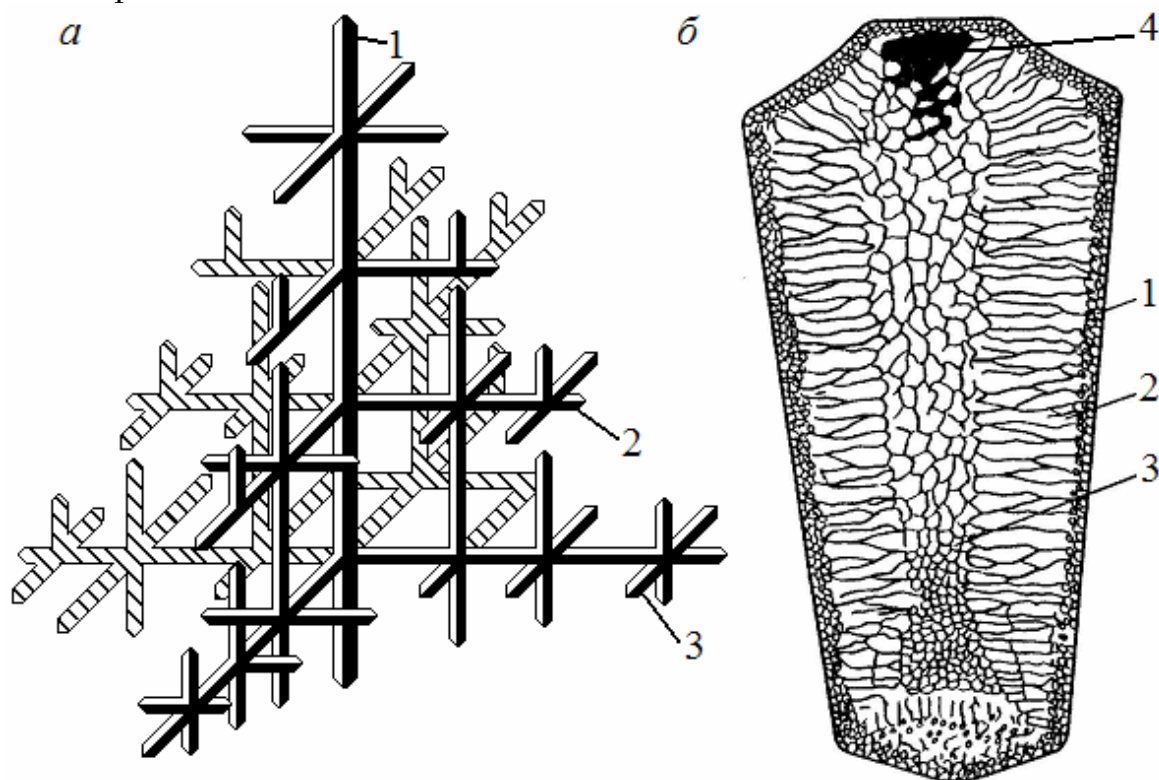


Рис. 2. Строение слитка:

a – дендритный кристалл: 1, 2, 3 – оси соответственно первого, второго и третьего порядка; *б* – зонная структура слитка: 1 – мелкие равноосные кристаллы, 2 – столбчатые кристаллы, 3 – крупные равноосные кристаллы

Дендритную структуру стали определяют следующим образом:

- 1) отшлифованную поверхность образца протирают ватой, смоченной спиртом;
- 2) образец погружают в указанный реактив и выдерживают в нем в течение 1,5-2 мин; за время выдержки макрошлифа железо с поверхности образца растворяется и вытесняет из реактива медь, которая осаждается на поверхности образца; при этом протекает реакция $3\text{CuCl}_2 + 2\text{Fe} = 2\text{FeCl}_3 + 3\text{Cu}$; вся поверхность макрошлифа в процессе травления покрывается тонким налетом меди;
- 3) налет меди с поверхности макрошлифа удаляют промыванием водой;
- 4) просушивают образец, прикладывая к его рабочей поверхности листы фильтровальной бумаги;
- 5) поверхность макрошлифа изучают и анализируют.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЕРЫ

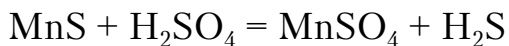
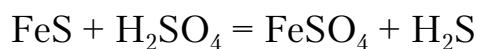
Сера является вредной примесью, так как вызывает *красноломкость* стали, то есть хрупкость при высоких температурах.

В железоуглеродистых сплавах сера находится в виде химического соединения с железом FeS и марганцем MnS. Сульфидные включения образуют с железом эвтектику с температурой плавления 988 °С, располагающуюся по границам зерен. При нагреве стали до температуры горячей деформации (1000-1200 °С) эвтектика расплавляется, нарушается связь между зернами, вследствие чего при деформации сталь хрупко разрушается. Поэтому содержание серы в сталях строго регламентируется.

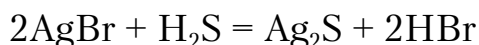
Определение химической неоднородности (*ликвации*) серы в стальных образцах производят по методу Баумана, для выполнения которого необходимо:

- 1) шлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной в спирте;
- 2) листы бромосеребряной фотобумаги вымочить на свету в течение 5-10 мин в 5%-м водном растворе серной кислоты;
- 3) обработанный лист фотобумаги извлечь пинцетом из раствора, слегка просушить между листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора, наложить эмульсионной стороной на макрошлиф и, приглаживая сверху рукой или резиновым валиком, удалить с поверхности шлифа пузырьки газов, выдержать на макрошлифе в течение 1-2 мин и осторожно снять его.

При наличии в металле сульфидных включений FeS и MnS между ними и серной кислотой, оставшейся на фотобумаге, происходит следующая реакция:



Выделяющийся сероводород действует на бромистое серебро эмульсионного слоя, в результате чего образуется сернистое серебро, проявляющееся на фотобумаге темно-коричневыми включениями:



4) полученный отпечаток промыть вначале в воде, затем в содовом растворе, затем снова в воде, зафиксировать в 25%-м водном растворе гипосульфита в течение 15 минут, снова промыть в воде и просушить;

5) серные отпечатки визуально и с помощью лупы изучить и проанализировать: наблюдаемые на фотобумаге вкрапления темно-коричневого цвета свидетельствуют о наличии в металле ликвационных скоплений сернистых соединений (рис. 3);



Рис. 3. Серный отпечаток, полученный с поверхности станины сверхмощного станка

6) количество и характер расположения сульфидных включений на фотоотпечатках сравнить с пятибалльной шкалой серных отпечатков, наклеенных на планшетах, и по каждому отпечатку установить оценочный балл.

Отпечатки, оцененные 1-3 баллами, указывают на соответствие исследуемой стали ее назначению, а отпечатки, оцененные 4-5 баллами, свидетельствуют о низком качестве соответствующей стали, и последняя должна быть забракована.

ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЛОКНИСТОСТИ СТАЛИ

При обработке стали давлением – прокатке, ковке, штамповке – дендриты и неметаллические включения (сульфиды, оксиды, шлаки) частично раздробляются и вытягиваются вдоль направления деформации. В результате формируется полосчатая, волокнистая структура.

Волокнистое строение металла обуславливает ярко выраженную анизотропию его свойств (различие их показателей вдоль и поперек волокна). Например, ударная вязкость, пластичность и прочность образцов, вырезанных вдоль волокон, выше, по сравнению с образцами, вырезанными поперек волокон.

Поэтому ответственные детали, особенно работающие при высоких динамических нагрузках (коленчатые валы, шестерни, шатуны, клапаны, крюки) изготавливают так, чтобы волокна в них не перерезались, а соответствовали конфигурации изделия. При обработке резанием детали из деформированной стали ее волокна перерезаются, что резко снижает прочность детали.

Макроанализ позволяет не только выявить направление волокон в деформированном металле, но и определить способ изготовления детали, в частности, является ли она литой или изготовлена ковкой (штамповкой) или резанием (рис. 4).

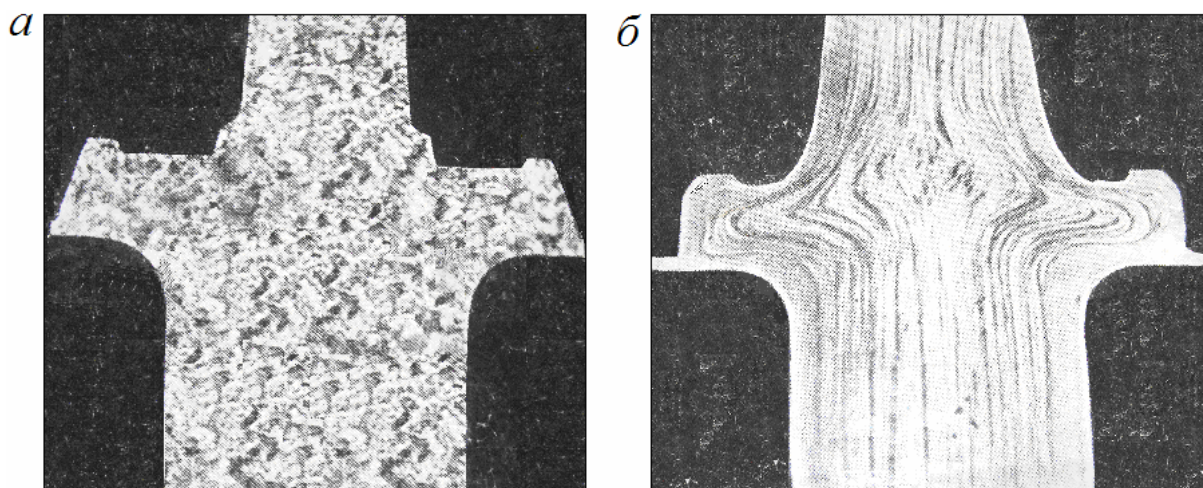


Рис. 4. Макроструктура стальной муфты, изготовленной:
а – литьем (крупнозернистое строение литого изделия);
б – обработкой давлением (мелкозернистое, волокнистое строение металла после горячей обработки давлением)

Волокнистость стали выявляют травлением отшлифованного образца в реактиве состава: 85 г хлорной меди, 53 г хлористого аммония в 1000 см³ воды – по методике выявления дендритной структуры стали.

МАКРОАНАЛИЗ ИЗЛОМА МЕТАЛЛА

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металла. Изломы металлов могут различаться, в зависимости от состава металла, его строения, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий. Поэтому анализ излома позволяет установить строение металла, а в ряде случаев и причины его разрушения.

Объектом исследования является естественная поверхность разрушения образца или детали, не требующая специальной обработки. Для контроля качества металла по излому образец надрезают и разрушают ударной нагрузкой по месту надреза.

Вид излома свидетельствует о характере разрушения металла. Изломы разделяют на кристаллические (хрупкие) и волокнистые (вязкие).

Кристаллический излом (рис. 5. а) имеет на поверхности плоские блестящие участки (фасетки). Такой излом показывает, что в данном состоянии обработки металл хрупкий и разрушается без заметной пластической деформации. Форма зерна при разрушении не искажается; поэтому на хрупком изломе видны исходные форма и размер зерен металла. Хрупкое разрушение наиболее опасно.

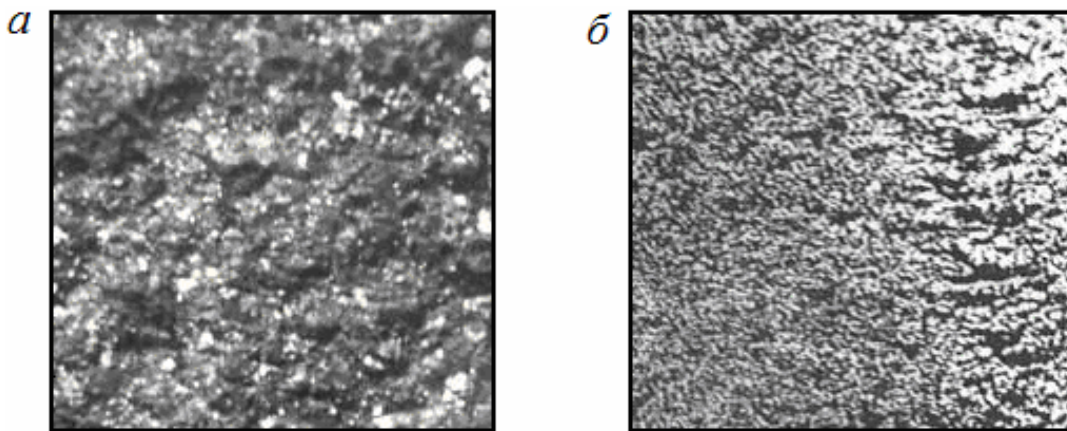


Рис. 5. Изломы металлов:
а – хрупкий; б – вязкий

Волокнистый излом (рис. 5. б) имеет волокнистую матовую поверхность и свидетельствует о том, что металл вязкий и его разрушению предшествует значительная пластическая деформация. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла, в процессе пластической деформации форма зерен искажается – они вытягиваются.

Характерные изломы изучают визуально.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить и кратко описать методы выявления макростроения металлов и сплавов.
2. Исследовать и зарисовать макроструктуру двух литых стальных образцов. Начертить схему строения стального слитка. Объяснить причины образования в слитке трех зон кристаллизации.
3. Определить неоднородность (ликвацию) распределения серы в трех стальных образцах по методу Баумана. Описать процесс получения серных фотоотпечатков макрошлифов. Дать заключение о пригодности металла методом сравнения с эталонной шкалой серных отпечатков.
4. Изучить и зарисовать макроструктуру детали после горячей обработки давлением. Указать наименование детали и цель обработки.
5. Выявить характер разрушения двух образцов. Зарисовать вязкий и хрупкий изломы.
6. Оформить отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается макроскопический анализ металлов и сплавов?
2. Что такое макрошлиф?
3. Перечислите зоны, имеющиеся в структуре типичного металлического слитка. Чем объяснить изменение размера зерен в различных зонах металлического слитка? Какой реактив используют для выявления дендритного строения стали?
4. Каким образом проводится исследование ликвации серы в сталях? Как влияет сера на свойства сталей?
5. Как влияет волокнистое строение металла на его свойства?
6. Перечислите виды изломов металлов. Укажите различия между ними.

Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА

Цель работы: изучить устройство прибора для измерения твердости по методу Роквелла, усвоить порядок подготовки образцов; ознакомиться с принципом выбора нагрузки и наконечника; усвоить порядок проведения испытания.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Прибор ТР 5006 для измерения твердости по методу Роквелла.
2. Образцы стали в закаленном и отожженном состоянии.
3. Образцы сплавов цветных металлов и твердых сплавов.
4. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86). Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
5. ГОСТ 24622-91. Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу.

СХЕМА ИСПЫТАНИЯ И ВЕЛИЧИНА ТВЁРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Измерение твердости по методу Роквелла производится на твердомере типа ТР5006, имеющем несколько шкал твердости (А, В, С, D, Е, F, G, H, K).

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного (шкалы А, С, D) или стального сферического (шкалы В, Е, F, G, H, K) наконечника под действием последовательно прилагаемых предварительного P_0 и основного P_1 усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия.

Обозначение параметров, их определение и схемы приложения нагрузки при определении твердости приведены на рис. 6 и 7. На рисунках приняты следующие обозначения:

R – радиус сферической части алмазного конусного наконечника, мм;

D – диаметр шарика, мм;

P_0 , P_1 и $P = P_0 + P_1$ – усилие при вдавливании индентора – соответственно предварительное, основное и общее, Н (кгс);

h_0 , h_1 и h – глубина внедрения индентора в испытываемый образец – соответственно под действием предварительного, общего усилий и после снятия только основного усилия, мм.

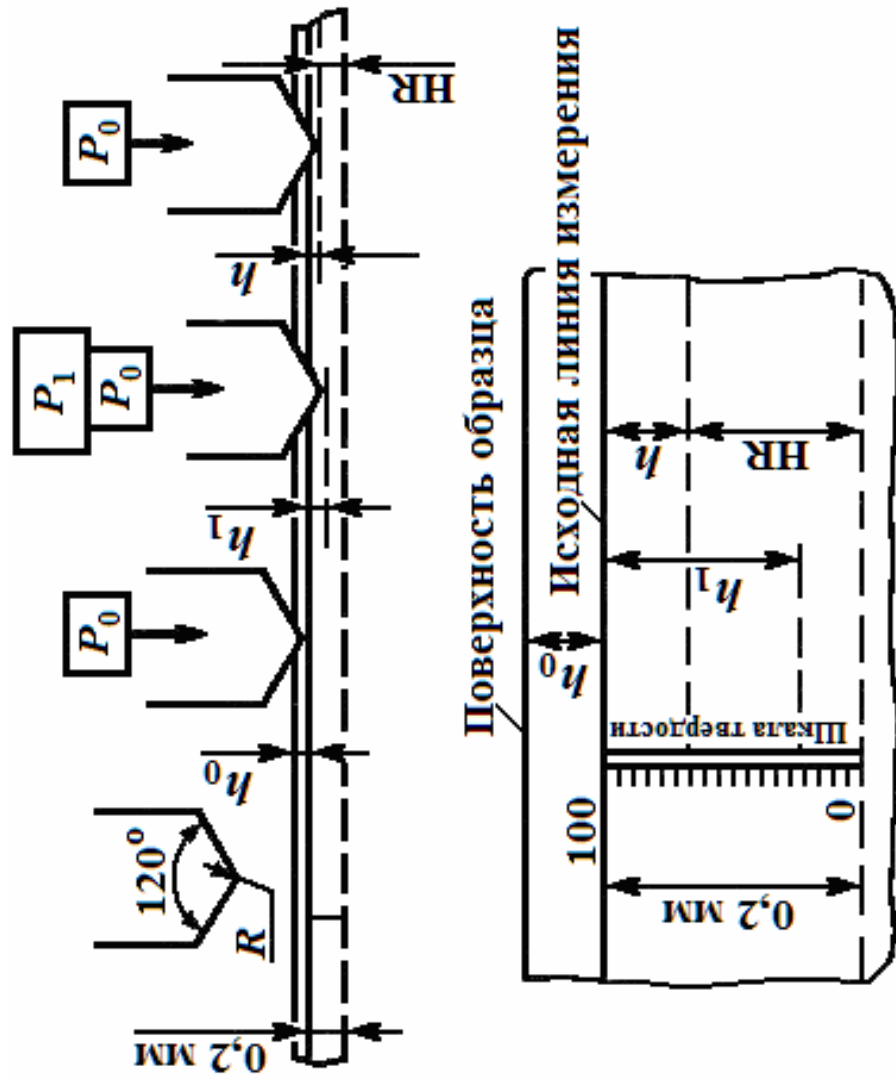


Рис. 6. Схема измерения твердости вдавливанием алмазного конуса (шкалы А и С)

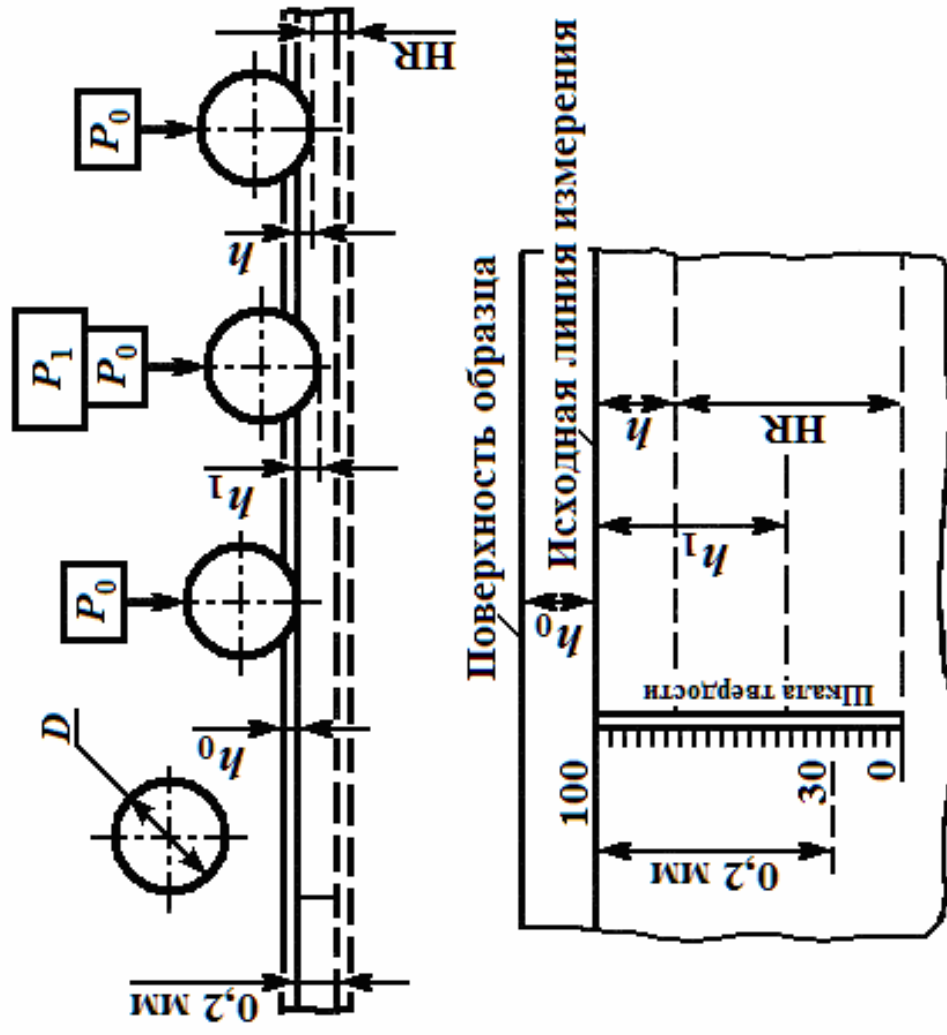


Рис. 7. Схема измерения твердости вдавливанием алмазного конуса (шкала В)

Единица твёрдости по Роквеллу – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Твёрдость по Роквеллу определяют по формулам:

$$HR = 100 - e \text{ (при измерении по шкалам А и С);}$$

$$HR = 130 - e \text{ (при измерении по шкале В).}$$

Величина e вычисляется по формуле

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}.$$

Условия испытаний в методе Роквелла приведены в табл. 1. Твёрдость по Роквеллу обозначают символом HR с указанием шкалы твердости, которому предшествует числовое значение твердости. Например: 62 HRC – твердость по Роквеллу 62 единицы по шкале С.

Т а б л и ц а 1

Условия испытаний, принятые в методе Роквелла

Шкала твёрдости	Обозначение единицы измерения твёрдости	Усилие, Н (кгс)			Диапазон измерений, единицы твёрдости
		предварительное P_0	основное P_1	общее P	
А	HRA	98,07(10)	490,3(50)	588,4(60)	20-88
В	HRB	98,07(10)	882,6(90)	980,7(100)	20-100
С	HRC	98,07(10)	1373,(140)	1471(150)	20-70
Д	HRD	98,07(10)	882,6(90)	980,7(100)	40-77
Е	HRE	98,07(10)	882,6(90)	980,7(100)	70-100
F	HRF	98,07(10)	490,3(50)	588,4(60)	60-100
G	HRG	98,07(10)	1373,(140)	1471(150)	30-94
Н	HRH	98,07(10)	490,3(50)	588,4(60)	80-100
К	HRK	98,07(10)	1373,(140)	1471(150)	40-100

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА ТР 5006

Общий вид прибора ТР 5006 представлен на рис. 8. Все основные узлы прибора смонтированы в корпусе 1. Прибор включает в себя три системы: нагружения, измерительную и рычажную.

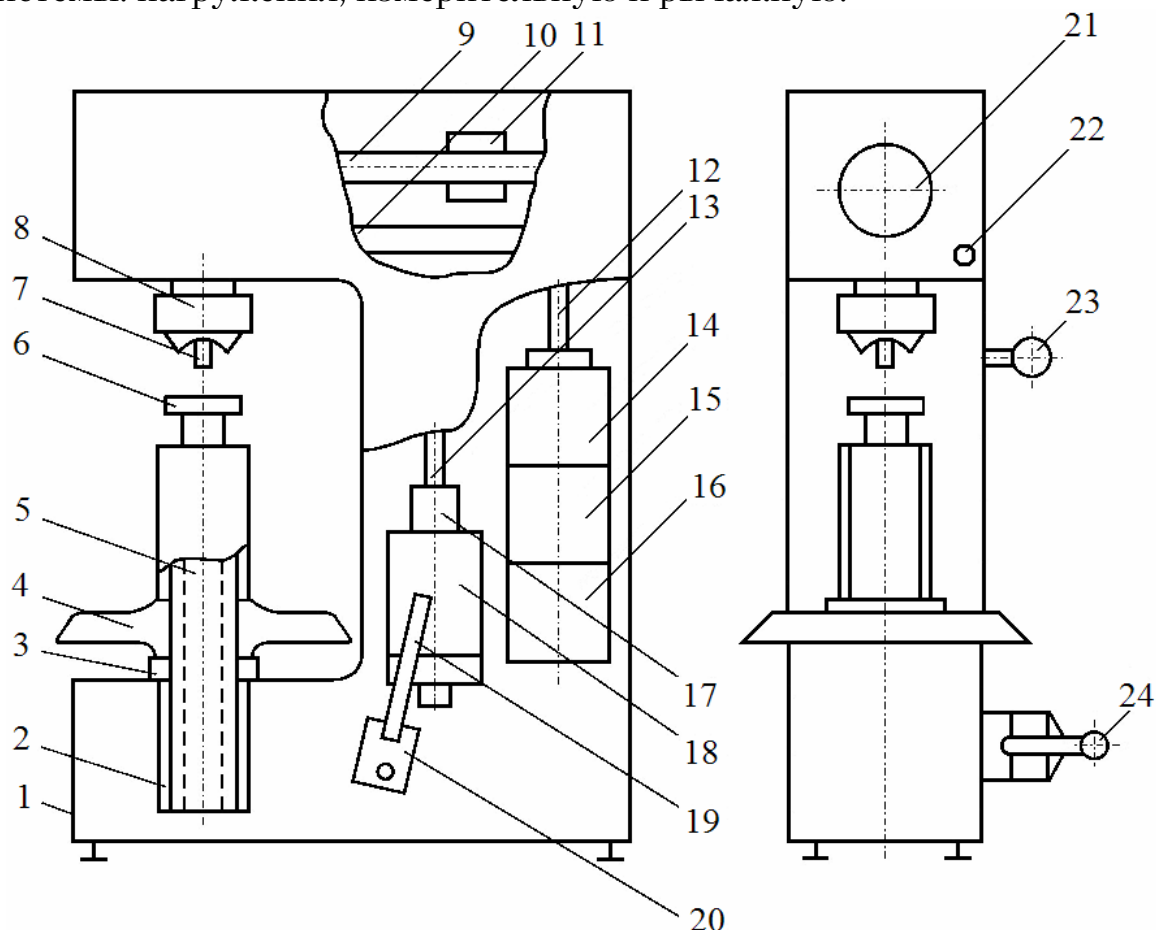


Рис. 8. Общий вид прибора ТР 5006

Система нагружения предназначена для воспроизведения предварительной и общих нагрузок на испытательный наконечник, а также для визуального отсчета показаний по твердости.

В измерительную систему входят: ручка 22 и индикатор 21. Индикатор (рис. 9, а) представляет собой циферблат, на котором нанесены две шкалы: *черная* (А и С) и *красная* (В) и имеются две стрелки – большая (*указатель твердости*) и малая (*для контроля величины предварительного нагружения*). Шкала индикатора имеет 100 делений (цена деления 0,002 мм), что соответствует глубине вдавливания 0,2 мм.

Рычажная система включает в себя рычаг 9, груз 11 и рычаг 10.

Грузовая подвеска предназначена для создания основных нагрузок путем навешивания набора тарированных грузов на рычаг 9. Подвеска состоит из штока 12, грузов 14, 15, 16 и ручки 23. Нагрузку переключают вручную, изменяя положение ручки 23. При этом в зависимости

от положения ручки с помощью специального механизма происходит снятие либо только одного груза 14, либо грузов 14 и 15. Нагрузку 1471 Н создают массой трех грузов: 14, 15 и 16. Переключают грузы согласно табличке, находящейся на боковой стенке прибора.

Привод служит для приложения и снятия основной нагрузки с заданной скоростью и состоит из демпфера 18, кронштейна 19, планки 20, штока 13, втулки 17 и рукоятки 24. Регулирование скорости производят втулкой 17.

Подъемный винт служит для подвода испытываемой детали к наконечнику, отвода после окончания испытания и приложения предварительной нагрузки. Наконечник 7 закрепляется накидной гайкой 8.

Подъемный винт состоит из втулки 2, кольца 3, маховика 4, винта 5 и сменных столиков 6. Стол перемещают, вращая маховик 4, при этом винт 5 получает поступательное движение вверх и вниз, в зависимости от направления вращения маховика.

Поворотом маховика 4 по часовой стрелке стол 6 с испытываемым образцом поднимают к наконечнику 7. При этом образец сначала соприкасается с наконечником 7, и через систему рычагов и усилия от индикатора создается предварительная нагрузка, равная 98,07 Н. По окончании приложения предварительной нагрузки большая стрелка индикатора устанавливается на нуль (вертикально вверх), а маленькая – на черную риску (рис. 9, б). Точную установку большой стрелки на нуль осуществляют поворотом ручки 22 (рис. 9, в).

Общие испытательные нагрузки 588,4; 980,7; 1471 Н, состоящие из предварительной 98,07 Н и основных 490, 883, 1373 Н, создают грузами 14, 15 и 16.

При перемещении рукоятки 24 из нижнего положения в верхнее освобождается рычаг 10 от опоры и под действием массы грузов опускается. Происходит навешивание грузов 14, 15 и 16 на рычаг 9. Таким образом, основная нагрузка через рычаг 9 с передаточным отношением 1:20 передается к наконечнику 7, который под действием общей нагрузки (сумма предварительной и основной) внедряется в испытываемое изделие. При этом большая стрелка индикатора перемещается против часовой стрелки (рис. 9, з). Время приложения основной нагрузки 5-7 с. Затем рукоятку 24 переводят в нижнее положение до упора и тем самым снижают основную нагрузку. В этом случае большая стрелка перемещается по циферблату по часовой стрелке (рис. 9, д). Цифра, которую указывает по шкале циферблата большая стрелка, представляет собой число твердости по Роквеллу. При испытании алмазным конусом отсчет производят по черным шкалам С и А, а при испытании шариком – по красной шкале В.

Вращая маховик 4 против часовой стрелки, стол с испытываемым образцом отводят от наконечника. На этом цикл испытания считается законченным.

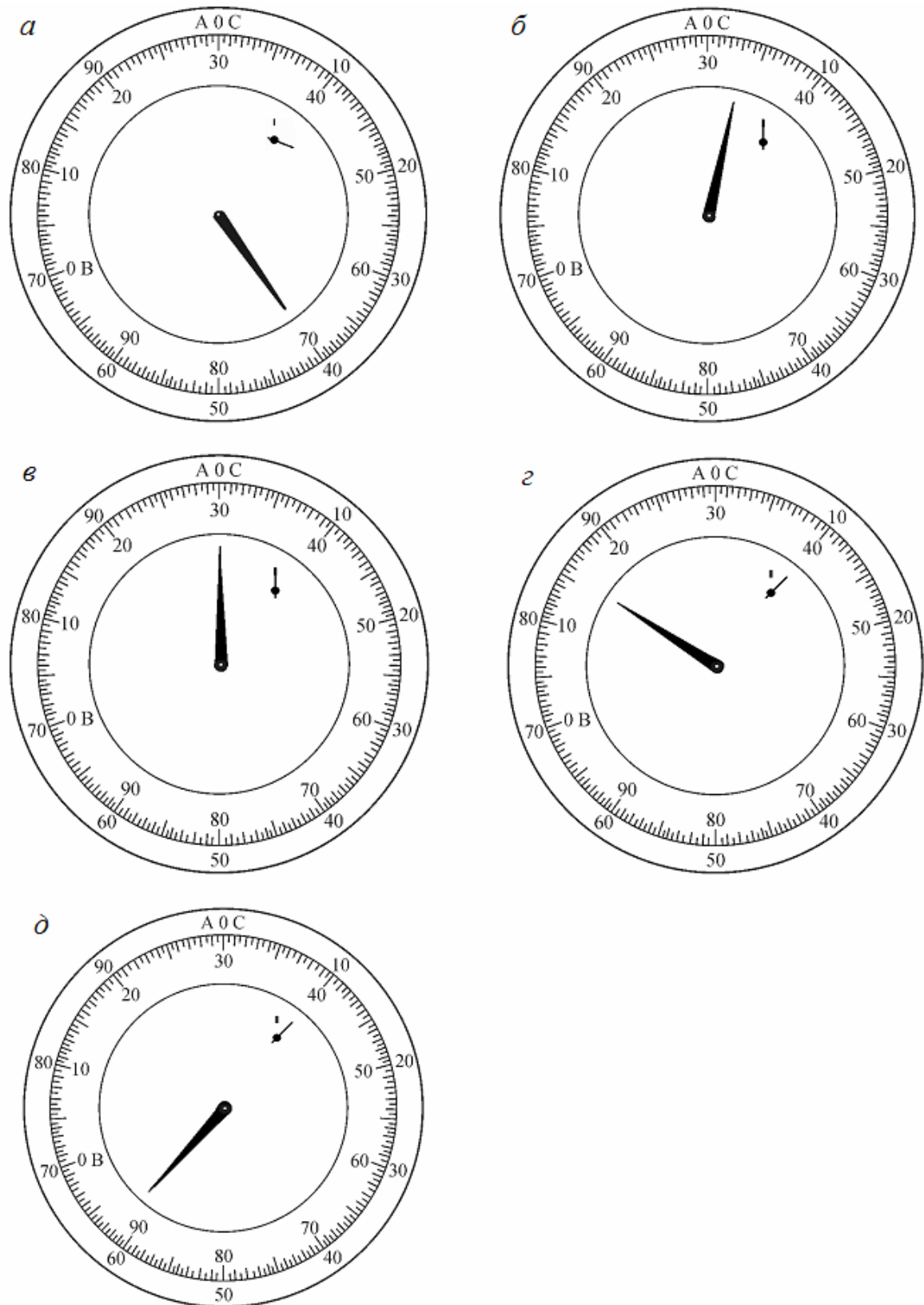


Рис. 9. Перемещение стрелок на индикаторе прибора ТР 5006 при вдавливании индентора

ВЫБОР НАГРУЗКИ И ВИДА НАКОНЕЧНИКА

Нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого материала и его ориентировочной твердости по табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Условия выбора шкалы твердости, соответствующей ей нагрузки
и вида наконечника

Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общая нагрузка, Н	Область применения
А	Алмазный конус	588,4	Твёрдые сплавы, детали, прошедшие поверхностную закалку, тонкий листовой металл ($\geq 0,4$ мм)
В	Стальной шарик $D = 1,588$ мм	980,7	Цветные металлы, конструкционная сталь
С	Алмазный конус	1471	Закаленные и термически обработанные стали
Д	Алмазный конус	980,7	Детали, прошедшие поверхностную закалку со средней твердостью сердцевины
Е	Стальной шарик $D = 3,175$ мм	980,7	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы, антифрикционные металлы, пластмассы
F	Стальной шарик $D = 1,588$ мм	588,4	Медные сплавы, прошедшие отжиг, тонкий листовой металл
G	Стальной шарик $D = 1,588$ мм	1471	Фосфористая бронза, бериллиевая бронза, ковкий чугун низкой твердости
Н	Стальной шарик $D = 3,175$ мм	588,4	Алюминий, цинк, свинец
К	Стальной шарик $D = 1,588$ мм	1471	Антифрикционный металл и другие металлы с очень незначительной твердостью, пластмассы, эбонит, клееная фанера, древесина

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

Поверхности образца, как испытываемая, так и опорная, плоские, параллельные друг другу, не должны иметь таких дефектов, как окалина, вмятины, грязь, различные покрытия. Все дефекты поверхности образца удаляются мелкозернистым наждачным кругом, напильником или наждачной бумагой. При обработке поверхности образец не должен нагреваться выше 100-150 °С.

Площадь плоского неметаллического образца, толщиной не менее 6 мм, должна быть достаточной для проведения не менее 5 измерений на расстоянии не менее 10 мм друг от друга и не более 10 мм от края образца. На опорной поверхности образца после испытания не должны оставаться следы от испытательного наконечника.

Образец не может качаться, сдвигаться и деформироваться (прогибаться, пружинить).

На приборе допускается проводить испытания с твердостью по шкале С не более 70 единиц, так как при большей твердости на конус алмаза создается большое удельное давление и он может разрушиться. Нижним пределом твердости по шкале С является твердость 20 единиц, при меньшей твердости алмаз слишком глубоко проникает в изделие (более 0,16 мм), и метод становится недостаточно точным.

Испытание алмазным конусом по шкале А следует проводить при измерении твердости изделий из твердых сплавов, а также изделий с поверхностной термической обработкой.

Измерение твердости шариком диаметром 1,588 мм по шкале В рекомендуется производить на мягких металлах с наибольшей твердостью 100 единиц. При более высокой твердости испытание шариком становится недостаточно чувствительным ввиду малой глубины его проникновения в металл (менее 0,06 мм). Кроме того, при испытании шариком твердых поверхностей он может деформироваться. Нижний предел твердости по шкале В при стандартном испытании – 25 единиц. В случае испытания изделий с твердостью ниже 25 единиц в большинстве случаев пластическая деформация, как правило, продолжается длительное время и результаты получаются неточными. Кроме того, измерения становятся неправильными из-за слишком большой площади соприкосновения шарика с изделием.

Во время проведения испытания необходимо следить, чтобы расстояние центра отпечатка алмазного наконечника от края изделия или от центра другого отпечатка было не менее 4 мм, а шариков диаметром 3,175; 5; 6,35; 10 и 12,7 мм – не менее 10 мм.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить сущность метода определения твердости по Роквеллу.

2. Ознакомиться с устройством и принципом работы прибора для измерения твердости ТР 5006.

3. Провести испытания на твердость стальных образцов, образцов цветных и твердых сплавов, выполнив при этом следующие действия:

- в зависимости от твердости испытываемого образца выбрать наконечник и нагрузку (см. табл. 2);

- с помощью накидной гайки закрепить выбранный наконечник на приборе и установить необходимую нагрузку ручкой 23;

- установить испытываемый образец на предметном столике 6 прибора;

- вращением маховика 4 по часовой стрелке поднимать столик до тех пор, пока большая стрелка индикатора не встанет на нуль, а малая – на черную риску (см. рис. 4); точную установку нуля производить вращением ручки 22;

- приложить испытательную нагрузку рукояткой 24, переместив ее в верхнее положение; на окончание внедрения наконечника в образец указывает резкое замедление или остановка движения большой стрелки индикатора;

- снять испытательную нагрузку не менее чем через 2-5 с возвратом рукоятки 24 в исходное положение;

- отсчитать твердость по шкале индикатора; при измерении по шкалам А, D и С твердость отсчитывать по черной шкале; по всем остальным шкалам - по красной шкале;

- отвести испытываемый образец от наконечника, вращая маховик против часовой стрелки; образец отодвинуть и повторить испытание в другом месте образца; на каждом образце должно быть проведено не менее трех испытаний; расстояние отпечатка от края образца или от центра другого отпечатка должно быть не менее 4 мм. Подсчитать среднее значение твердости;

- используя табл. I приложения, числа твердости по Роквеллу перевести на числа твердости по Бринеллю.

4. Результаты измерений занести в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Материал образцов	Шкала	Твердость НR				Твердость по Бринеллю НВ (перевод)
			1	2	3	Среднее	

5. Составить отчет, в котором кратко изложить метод определения твердости по Роквеллу; привести схему прибора ТР 5006 и дать краткое описание его устройства, представить результаты испытаний.

Контрольные вопросы

1. Как выбирают нагрузку и наконечник для измерения твердости методом Роквелла?

2. Какие достоинства имеет метод определения твердости по Роквеллу?

3. Приведите схему определения твердости по Роквеллу.

4. Как обозначается число твердости по Роквеллу?

5. По какой шкале индикатора снимают показания при измерении твердости образца стали толщиной 3 мм?

Лабораторная работа № 3 ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить назначение и сущность термического анализа; научиться определять температуры кристаллизации при охлаждении жидких сплавов олово – свинец.

Лабораторное оборудование и материалов:

1. Образцы сплавов системы олово – свинец.
2. Установка для определения температур превращений металлов и сплавов (тигельная печь и термоэлектрический пирометр).
3. Секундомер.

ХАРАКТЕРИСТИКА И НАЗНАЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Термический анализ является одним из экспериментальных методов определения температур фазовых превращений, происходящих в металлах или сплавах и сопровождающихся поглощением или выделением тепла.

Термический анализ заключается в регистрации температуры нагреваемого или охлаждаемого сплава через равные промежутки времени.

Результатом термического анализа является графическое изображение изменений температуры во времени, представляющее собой кривую охлаждения (или нагревания) исследуемого сплава. Кривые охлаждения строятся в координатах «температура – время». Если при охлаждении (или нагревании) в сплаве происходят фазовые превращения, сопровождающиеся тепловым эффектом, то на кривой появляются горизонтальные участки или перегибы.

Внутренние превращения, температуры которых (критические температуры) определяются по кривым охлаждения (или нагревания), называются *фазовыми превращениями*. К ним относятся плавление или кристаллизация, аллотропические превращения и т.д. *Точки на кривых охлаждения (или нагревания), соответствующие температурам фазовых превращений, называются критическими*.

Типичные кривые охлаждения металлов и их сплавов представлены на рис. 10.

На рис. 10, *а* показана кривая охлаждения, характерная для чистых металлов, у которых кристаллизация протекает при постоянной температуре.

На рис. 10, б приведена кривая охлаждения сплава. В этом случае фазовое превращение происходит в интервале температур и кривая охлаждения имеет две точки перегиба.

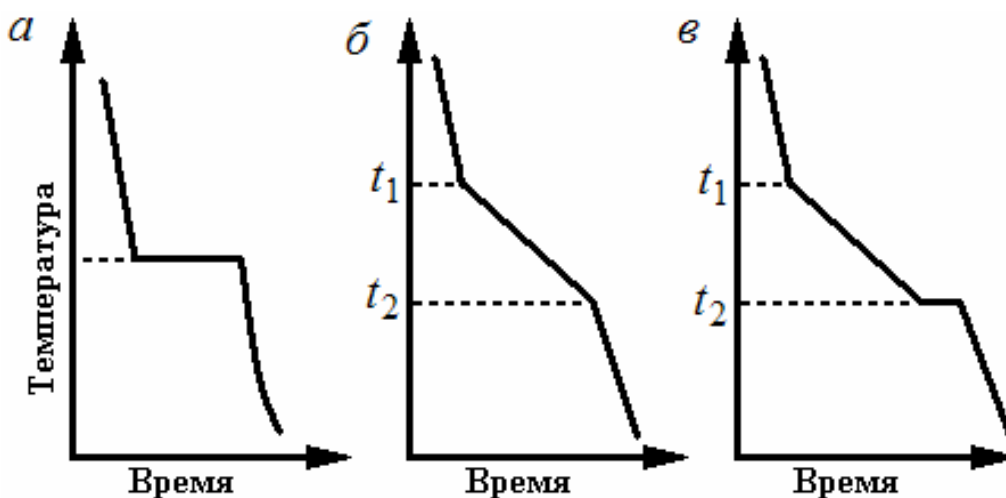


Рис. 10. Кривые охлаждения и их сплавов:
а – чистые металлы; б – твердые растворы; в – механические смеси

На рис. 10, в показана кривая охлаждения сплава типа «механическая смесь». При выделении из жидкого сплава кристаллов одного из компонентов при температуре t_1 на кривой появляется перегиб, указывающий на замедление охлаждения сплава. Образование механической смеси двух компонентов происходит при постоянной температуре t_2 , о чем свидетельствует горизонтальная площадка на кривой охлаждения.

Исследование процесса охлаждения термическим методом производится с помощью термоэлектрических пирометров. Пирометр (рис. 11) состоит из хромель-алюмелевой термопары I и гальванометра (милливольтметра) II.

Проволоки (из двух разных металлов) 1 и 3 термопары, спаянные в точке 2 (горячий спай), соединены проводами 4 и 5 с гальванометром. Место соединения проводов 1 и 3 с проводами 4 и 5 называется холодным спаем, который должен находиться при постоянной температуре t_0 (0 или 20 °С). Горячий спай

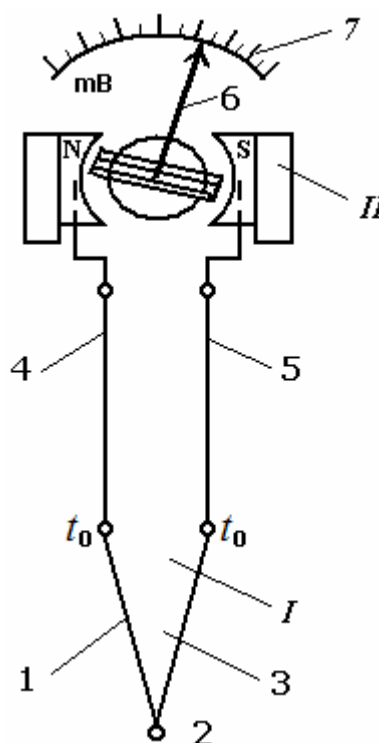


Рис. 11. Схема термоэлектрического пирометра

термопары помещают в среду, температура которой должна быть определена.

При нагреве горячего спая возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), под действием которой по электрической цепи потечет ток. При этом происходит отклонение стрелки 6 гальванометра II, шкала 7 которого проградуирована в милливольтгах или градусах. Чем выше температура горячего спая, тем больше ТЭДС термопары и угол отклонения стрелки.

С помощью термического анализа можно решить следующие задачи:

1) построить диаграмму состояния сплавов, определив критические точки нескольких сплавов известного состава исследуемой системы;

2) определить состав сплава по его критическим точкам, используя диаграмму состояния системы, к которой относится исследуемый сплав.

В данной работе решается вторая задача.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Температуру кристаллизации определяют на установке, схема которой представлена на рис. 12.

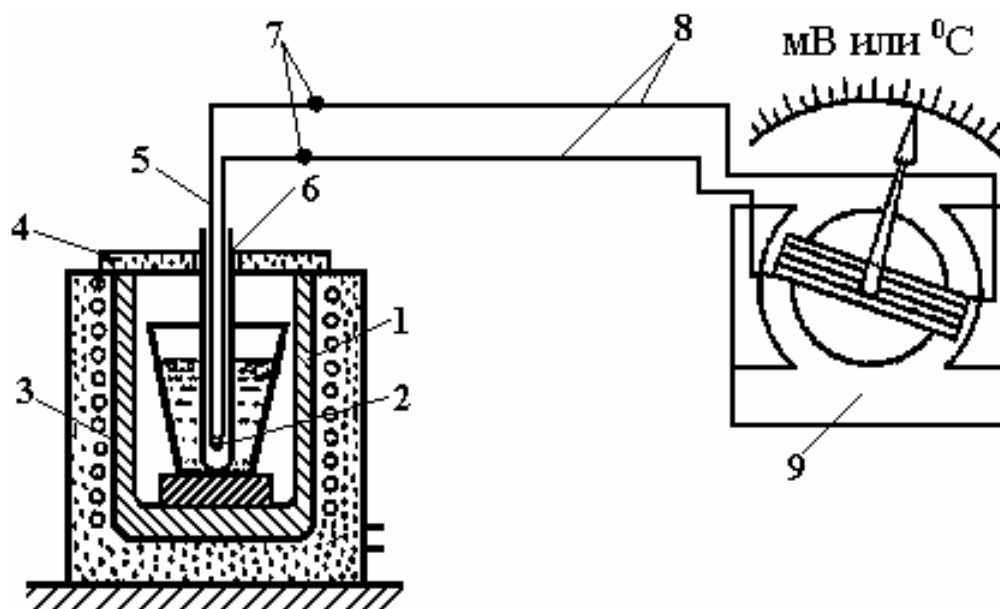


Рис. 12. Схема установки для определения критических точек металлов и сплавов

Для определения температур кристаллизации необходимо выполнить следующие действия:

1) исследуемый сплав (150-200 г) поместить в тигель 1 (см. рис. 12), установленный в электропечь 3;

2) включить печь и расплавить (с некоторым перегревом) в тигле сплав данного состава;

3) на поверхность расплавленного сплава насыпать слой толченого древесного угля для предохранения сплава от окисления;

4) закрыть тигель крышкой или листовым асбестом 4;

5) через отверстие в крышке или листовом асбесте в расплавленный сплав поместить горячий спай 2 термопары 5, защищенной фарфоровым кожухом 6; свободные концы проволок термопары должны быть соединены (место соединения 7 – холодный спай) медными проводами 8 с гальванометром 9;

6) выключить печь;

7) через каждые 30-60 секунд записывать показания стрелки гальванометра;

8) по полученным критическим точкам построить кривую охлаждения;

9) на построенной кривой определить температуру начала и конца затвердевания.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с назначением и сущностью термического анализа. Изучить методику определения температур кристаллизации металлов и сплавов.

2. Определить температуры фазовых превращений и химический состав двух сплавов системы олово – свинец. Для этого:

- до начала работы образцы сплавов Sn – Pb довести до расплавления;

- измерить температуру исследуемых сплавов в процессе охлаждения через каждые 10 секунд до их полного затвердевания; полученные данные занести в табл. 4;

- построить кривые охлаждения исследуемых сплавов и определить критические точки – температуру начала и конца кристаллизации;

- объяснить ход полученных кривых и указать, какие процессы, происходящие в этих сплавах, характеризуют отдельные участки кривых;

- вычертить в масштабе диаграмму состояния системы «олово – свинец» (рис. 13) и, используя экспериментально полученные кривые, указать примерный химический состав исследованных сплавов;

3. Оформить отчет, в котором кратко изложить сущность термического анализа и методику определения температур кристаллизации металлов и сплавов, привести таблицу температур охлаждающихся сплавов и их кривые охлаждения.

Т а б л и ц а 4

Время охлаждения, с	Термоэлектродвижущая сила, мВ	Температура, °С
10		
20		
30		
40		
50 и т.д.		

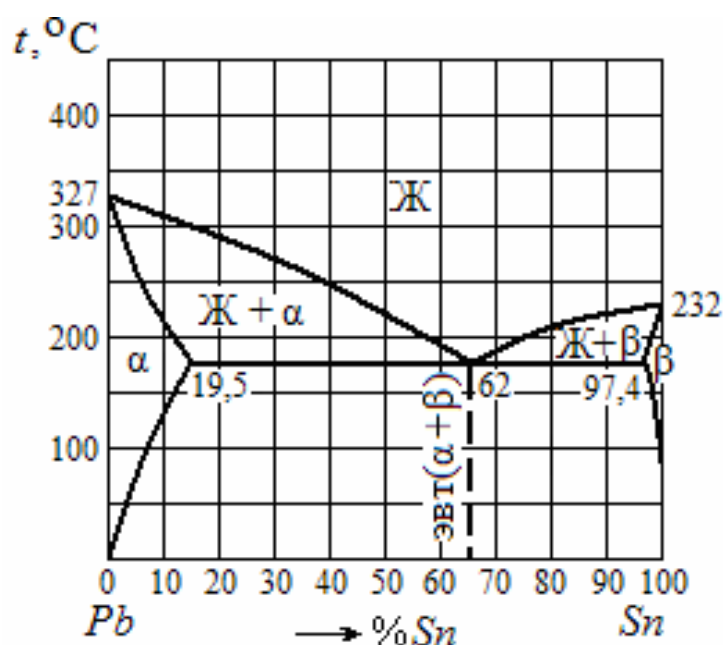


Рис. 13. Диаграмма состояния системы «олово – свинец»

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность термического анализа металлов и сплавов?
2. Какие превращения называют фазовыми?
3. Объясните понятие «критические точки» сплава.
4. Какой вид имеет кривая охлаждения сплава типа «механическая смесь»? Укажите, какие процессы, происходящие в данном сплаве, характеризуют отдельные участки кривой.
5. Объясните назначение термоэлектрического пирометра.

Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить виды взаимодействия между двумя компонентами; основные типы диаграмм состояния двойных сплавов; правило фаз и правило отрезков; приобрести практические навыки по построению кривых охлаждения, определению количества фаз и концентрации компонентов.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Диаграммы состояния двойных сплавов, вычерченные в масштабе.

ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ СПЛАВА

Металлический сплав представляет собой вещество, получаемое в результате взаимодействия двух или нескольких компонентов.

При образовании сплава атомы компонентов вступают в определенное взаимодействие друг с другом. В жидком состоянии компоненты сплавов обычно неограниченно растворимы друг в друге и образуют жидкие растворы. В твердом состоянии компоненты могут образовывать твердые растворы, химические соединения и механические смеси.

1. *Твердыми растворами* называются фазы, в которых атомы растворимого компонента располагаются в кристаллической решетке компонента растворителя. Растворителем называется тот компонент, кристаллическая решетка которого сохраняется как основа, но изменяются ее параметры.

Различают твердые растворы замещения и внедрения.

Твердый раствор замещения образуется замещением части атомов растворителя в его кристаллической решетке атомами растворимого компонента (рис. 14, а).

Твердый раствор внедрения образуется путем внедрения атомов растворимого компонента в междоузлие кристаллической решетки компонента растворителя (рис. 14, б).

2. *Химические соединения* образуются при строго определенном количественном соотношении компонентов сплава и имеют кристаллическую решетку, отличную от решеток компонентов.

Свойства химического соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Состав химического соединения можно выразить формулой A_mB_n .

3. *Механические смеси* могут состоять из чистых компонентов, твердых растворов и химических соединений. При образовании механической смеси кристаллические решетки фаз не меняются.

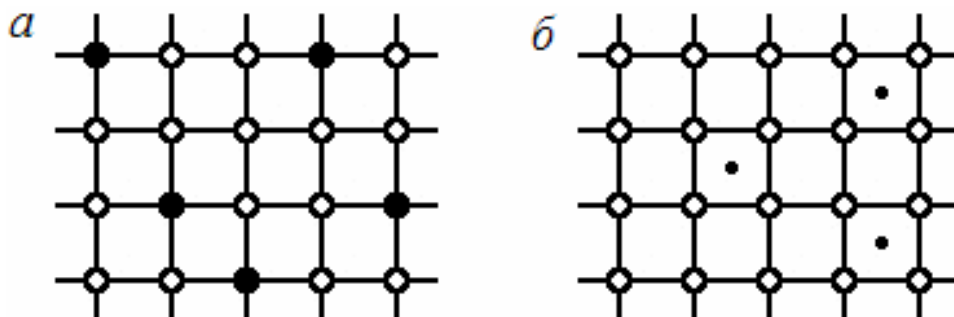


Рис. 14. Виды твердых растворов:

a – замещения; b – внедрения;

○ – атомы компонента растворителя;

● – атомы растворимого компонента

Таким образом, в твердом состоянии компоненты могут образовывать:

- твердые растворы, когда один компонент растворяется в другом;
- химические соединения, когда компоненты вступают в химическое взаимодействие;
- механические смеси, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическое взаимодействие с образованием соединения.

ПРАВИЛО ФАЗ

Процессы, происходящие в сплавах при их фазовых превращениях, подчиняются общему закону равновесия, который называется *правилом фаз Гиббса*. Правило фаз устанавливает количественную зависимость между числом степеней свободы системы, числом компонентов и фаз в условиях равновесия и выражается уравнением

$$C = K - \Phi + n,$$

где C – число степеней свободы системы;

K – число компонентов системы;

Φ – число фаз;

n – внешние переменные факторы – температура и давление.

Под *числом степеней свободы* системы понимают количество внешних (температура, давление) и внутренних (концентрация компонен-

тов) факторов, которые можно изменять без изменения числа фаз, находящихся в равновесии.

Если принять, что все превращения в сплавах происходят при постоянном давлении, то уравнение примет следующий вид:

$$C = K - \Phi + 1,$$

где 1 – внешний переменный фактор (температура).

ОСНОВНЫЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Диаграммы состояния в графической форме показывают фазовый состав сплава в зависимости от температуры и концентрации. Диаграммы строят в координатах: температура (в градусах Цельсия) – концентрация компонентов (в процентах).

Тип диаграммы состояния зависит от вида взаимодействия компонентов сплава, то есть от того, какую фазу образуют компоненты в твердом состоянии. Рассмотрим основные типы диаграмм состояния.

Диаграмма состояния I типа *характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, нерастворимы в твердом состоянии и образуют механическую смесь своих кристаллов.*

Общий вид диаграммы состояния первого типа для компонентов A и B представлен на рис. 15, где линия ACB – линия ликвидус, DCE – линия солидус.

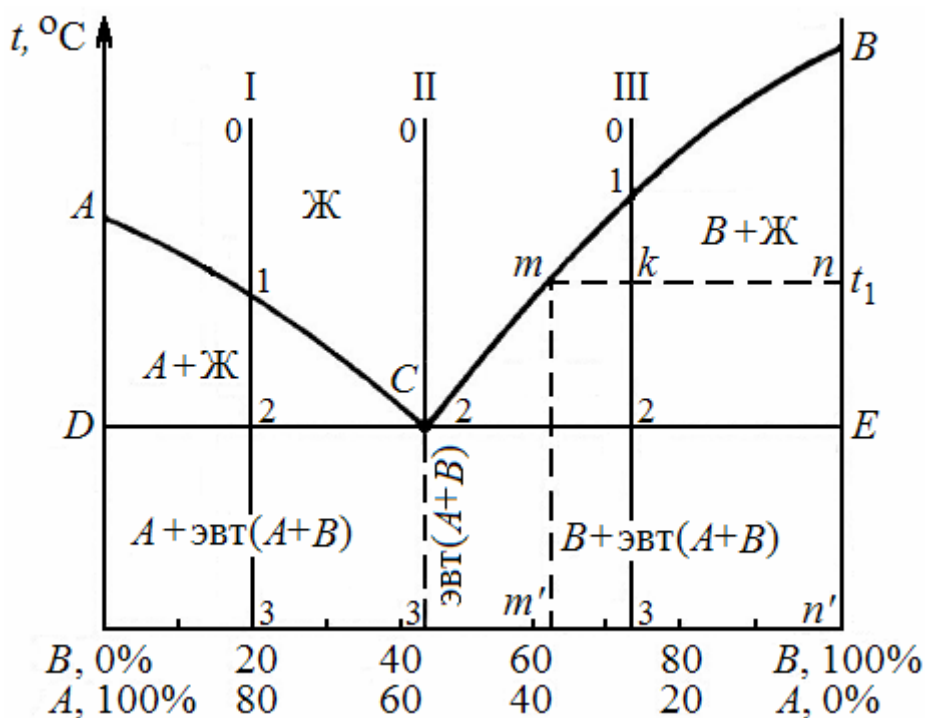


Рис. 15. Диаграмма состояния I типа

С помощью диаграммы рассмотрим кристаллизацию нескольких сплавов с различной концентрацией компонентов.

1) *Сплав I* с концентрацией компонента *A* 80 % и компонента *B* 20 %.

Кривая охлаждения для него показана на рис. 16, *a*. На данной кривой участок 0-1, находящийся выше линии ликвидус, соответствует охлаждению жидкого сплава. Число степеней свободы для этого участка: $K = 2; \Phi = 1 \Rightarrow C = 2 - 1 + 1 = 2$.

На участке 1-2 из жидкости выделяются кристаллы компонента *A*: $K = 2; \Phi = 2 \Rightarrow C = 2 - 2 + 1 = 1$. Уменьшению числа степеней свободы соответствует снижение скорости охлаждения сплава. Об этом свидетельствует изменение наклона кривой охлаждения на данном участке.

На участке 2-2' оставшаяся часть жидкости кристаллизуется с одновременным выделением кристаллов *A* и *B*. Механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости, называется *эвтектикой*. Следовательно, на участке 2-2' происходит *эвтектическое превращение*. Для этого участка число степеней свободы будет равно: $K = 2; \Phi = 3$ (жидкость, кристаллы компонента *A* и кристаллы компонента *B*) $\Rightarrow C = 2 - 3 + 1 = 0$. Это значит, что две фазы находятся в равновесии при строго определенной температуре (температуре плавления), и она не может быть изменена, пока одна фаза не закристаллизуется. На кривой охлаждения наблюдается горизонтальная площадка 2-2'.

Участок 2'-3 соответствует охлаждению твердого сплава: $K = 2; \Phi = 2$ (свободные и входящие в эвтектику кристаллы *A* и входящие в эвтектику кристаллы *B*) $\Rightarrow C = 2 - 2 + 1 = 1$. Наклон кривой охлаждения такой же, как на участке 1-2.

2) *Сплав II* имеет эвтектическую концентрацию: 43 % компонента *B* и 57 % компонента *A*. Он кристаллизуется с одновременным выделением кристаллов *A* и *B*.

На кривой охлаждения сплава (рис. 16, *b*) участок 0-2 соответствует охлаждению жидкого сплава: $K = 2; \Phi = 1 \Rightarrow C = 2 - 1 + 1 = 2$;

участок 2-2' – кристаллизации эвтектики: $K = 2; \Phi = 3$ (кристаллы *A* и *B*, входящие в эвтектику и жидкость) $\Rightarrow C = 2 - 3 + 1 = 0$;

участок 2'-3 – охлаждению закристаллизовавшегося сплава: $K = 2; \Phi = 2$ (кристаллы *A* и *B*, входящие в эвтектику) $\Rightarrow C = 2 - 2 + 1 = 1$.

В соответствии с $C = 1$ скорость охлаждения сплава на этом участке кривой ниже, чем на участке 0-2; следовательно, и наклон кривой здесь будет другой.

Сплав II называется *эвтектическим*. Сплавы, состав которых находится на диаграмме левее точки *C*, называются *доэвтектическими*, а правее – *заэвтектическими*.

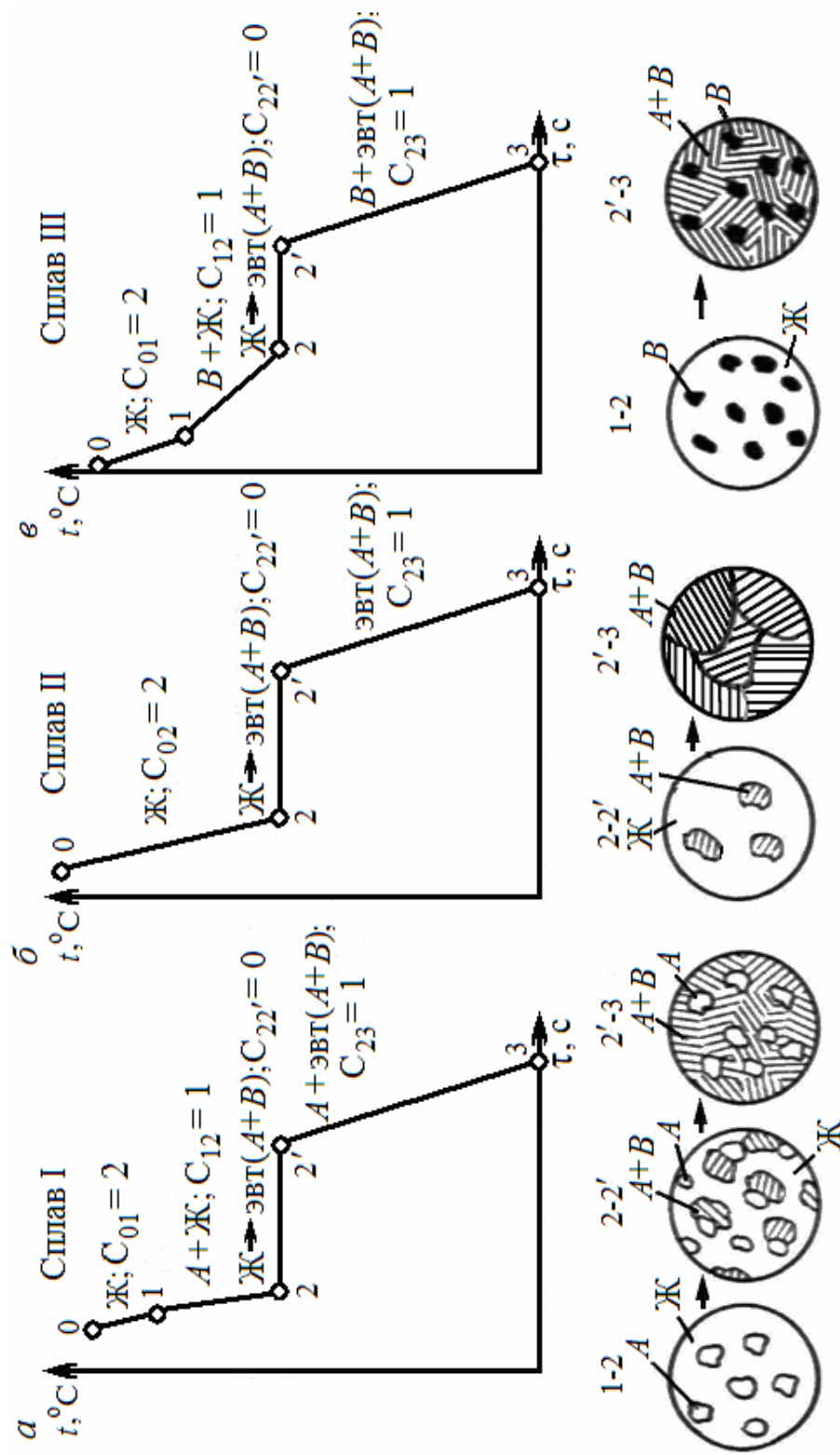


Рис. 16. Кривые охлаждения сплавов:
 а – доэвтектического; б – эвтектического; в – заэвтектического

3) Сплав III имеет концентрацию компонента *B* 74 % и компонента *A* – 26 %.

Кривая охлаждения этого сплава аналогична кривой охлаждения сплава I (рис. 16, в).

Диаграмма состояния дает возможность не только провести анализ фазового состояния сплава, но и определить состав и количественное соотношение фаз при любой температуре. Это осуществляется с помощью двух правил: концентраций и отрезков.

Правило концентраций формулируется следующим образом: чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают составы фаз.

Правило отрезков формулируется так: для того чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию; отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Используя эти правила, на примере затвердевания заэвтектического сплава III (см. рис. 15) можно определить состав и количество фаз сплава в точке *k* при температуре t_1 . Из диаграммы состояния следует, что при температуре, соответствующей точке *k*, сплав включает в себя жидкую фазу и кристаллы компонента *B*.

Для определения соотношения фаз и их состава через точку *k* проводят горизонтальную линию (*mn*) до пересечения с линиями, ограничивающими область на диаграмме.

Концентрацию компонентов *A* и *B* в жидкой фазе показывает проекция точки пересечения *m* горизонтали с линией ликвидус. Концентрацию компонентов в твердой фазе определяют проекцией точки пересечения линии солидус с горизонталью. В данном случае это будет точка *n*, которая лежит на вертикали и показывает, что твердой фазой в заэвтектических сплавах является чистый компонент *B*.

Отрезки горизонтали между заданной точкой *k* и точками пересечения *m* и *n*, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз. Если принять отрезок *mk* равным массе всего сплава (100 %), то количество твердой фазы будет равно:

$$Q_{\text{ТВ}} = \frac{mk}{mn} 100 \%,$$

а количество жидкой фазы

$$Q_{\text{ж}} = \frac{kn}{mn} 100 \%.$$

Таким же образом можно определить количество эвтектики в сплаве III после кристаллизации:

$$Q_{\text{эвт}} = \frac{kn}{CE} 100 \%.$$

Диаграмма состояния II типа *характерна для сплавов, оба компонента которых неограниченно взаимно растворимы в жидком и твердом состояниях и образуют твердые растворы.*

Общий вид диаграммы показан на рис. 17, а, где AmB – линия ликвидус, AnB – линия солидус, α – обозначение твердого раствора.

Рассмотрим процесс кристаллизации *сплава I* (рис.17, б). Точка 1 соответствует началу кристаллизации, точка 2 – концу. В интервале температур 1-2 сплав находится в двухфазном состоянии (ж + α), а по окончании кристаллизации переходит в однофазное состояние α – твердого раствора.

Исходная концентрация компонентов A и B в *сплаве I* соответствует точке 3 на оси концентраций. С началом кристаллизации в точке 1 из жидкой фазы выпадают кристаллы с концентрацией компонентов, соответствующей проекции точки s .

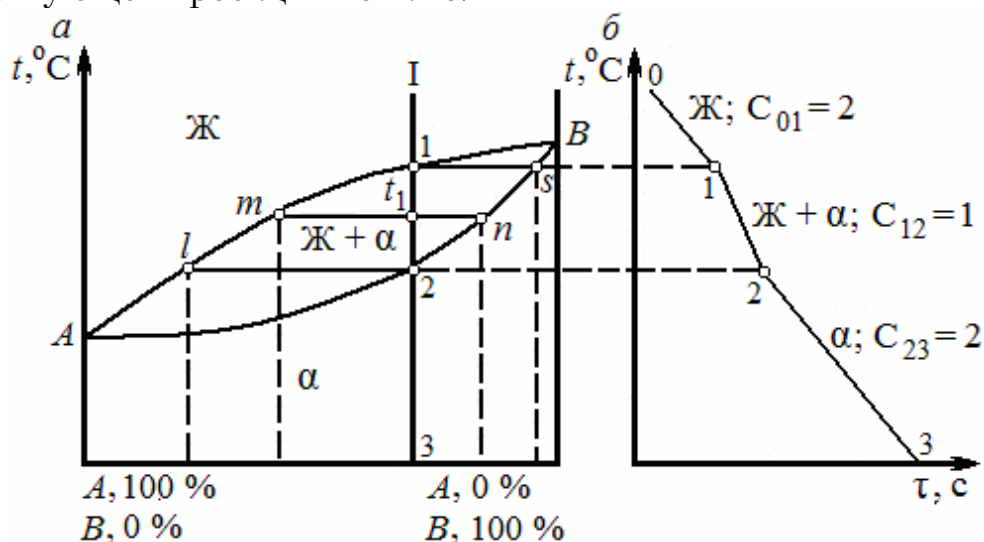


Рис. 17. Диаграмма состояния II типа (а) и кривая охлаждения сплава I (б)

В точке t_1 концентрация компонентов в жидкой фазе соответствует проекции точки m , а в твердой – точки n . При температуре конца кристаллизации концентрация компонентов в жидкой фазе соответствует проекции точки l , в твердой фазе – точки 3. Таким образом,

состав жидкости изменяется по кривой $1ml$, а состав кристаллов твердого раствора – по кривой $sn2$, и в момент окончания кристаллизации состав кристаллов такой же, как и состав исходной жидкости.

Количество жидкой и твердой фаз определяется из следующих соотношений:

$$Q_{\text{ж}} = \frac{t_1 n}{mn} 100 \%,$$

$$Q_{\text{ТВ}} = \frac{mt_1}{mn} 100 \%.$$

Диаграмма состояния III типа *характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно – в твердом и не образуют химических соединений.*

Общий вид диаграммы показан на рис. 18, где ACB – линия ликвидус; AECDB – линия солидус; ECD – линия эвтектических превращений; α – твердый раствор компонента B в компоненте A; β – твердый раствор компонента A в компоненте B. Линия EF – линия переменной растворимости; линия DG – линия, ограничивающая область раствора β .

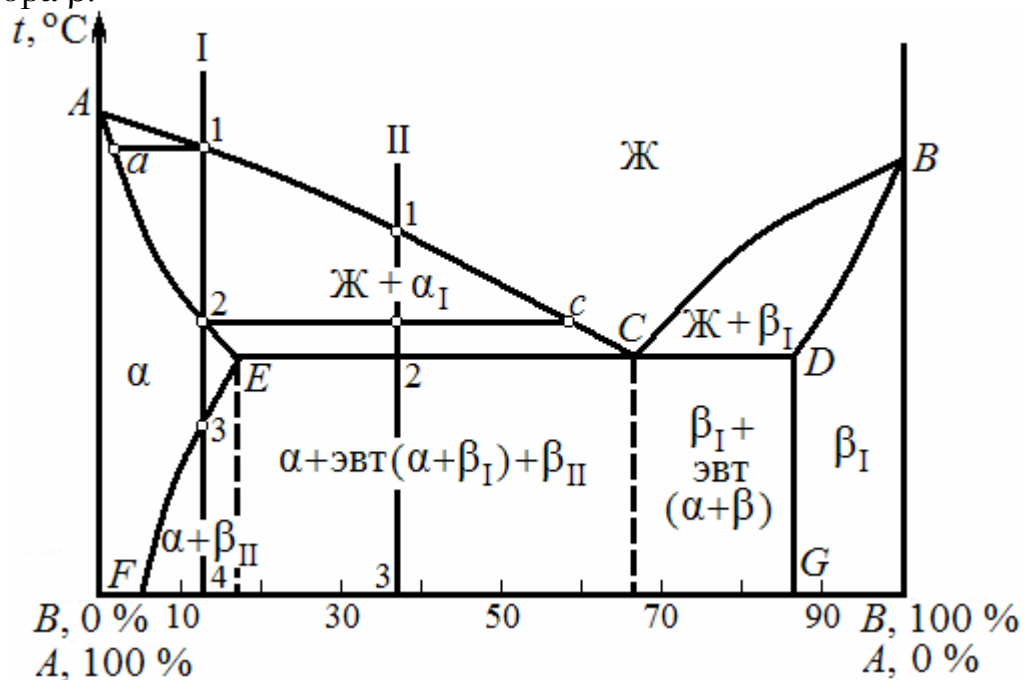


Рис. 18. Диаграмма состояния III типа

Используя правила фаз и отрезков, проанализируем процесс кристаллизации *сплавов* I и II, кривые охлаждения которых показаны на рис. 19.

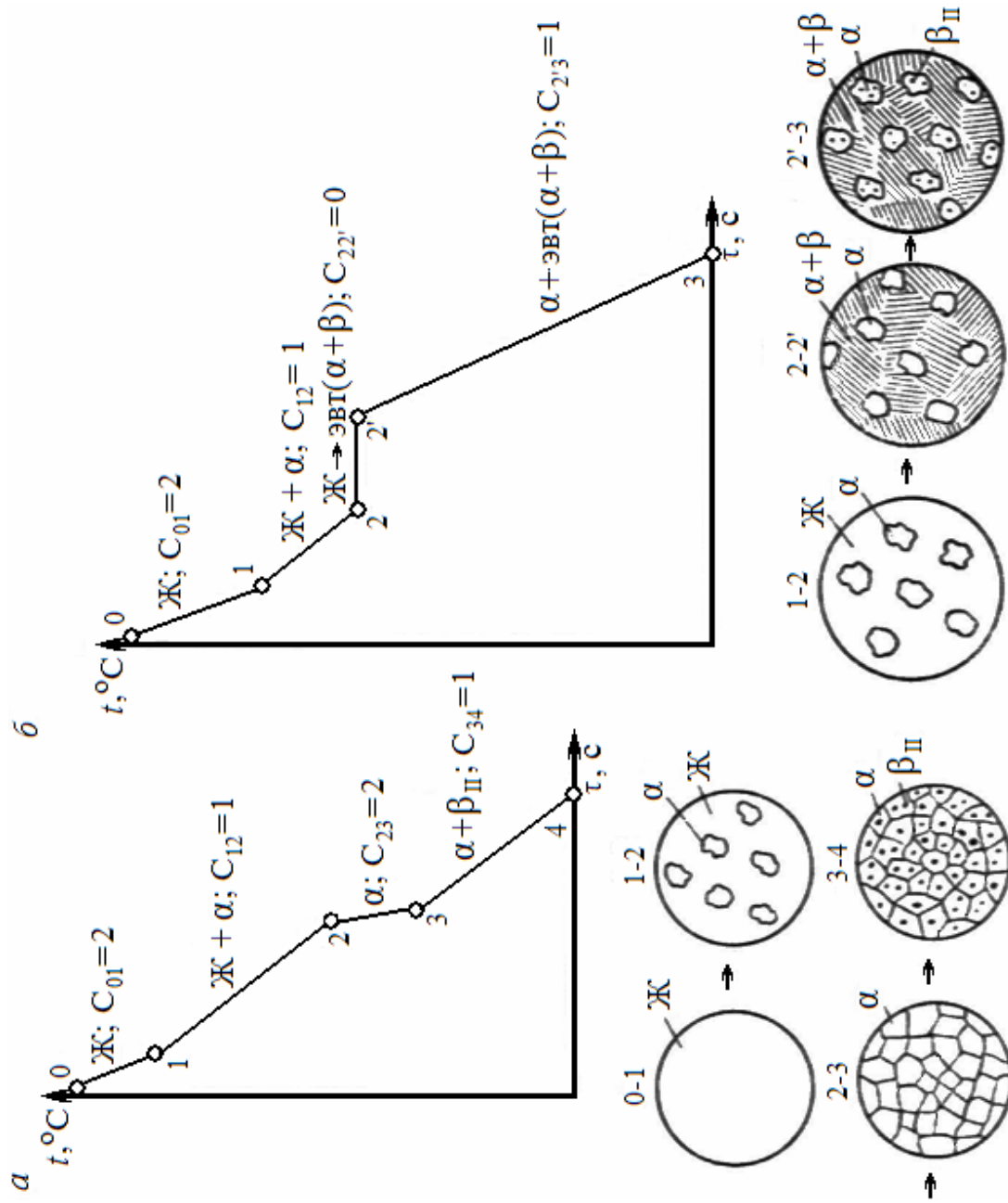


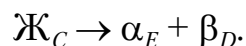
Рис. 19. Кривые охлаждения сплава I (а) и сплава II (б)

1) *Сплав I* выше точки 1 находится в жидком состоянии. В точке 1 с началом кристаллизации из жидкости выделяются кристаллы твердого раствора α , концентрация которого изменяется по кривой $a-2$, а состав жидкости – по кривой 1-с. В точке 2 кристаллизация заканчивается, и образовавшиеся кристаллы твердого раствора α имеют концентрацию исходной жидкости. Эти кристаллы не претерпевают изменений до точки 3, лежащей на линии предельной растворимости. Ниже точки 3 твердый раствор α является пересыщенным и выделяет избыточные кристаллы – кристаллы β -твердого раствора.

Состав твердого раствора α изменяется по кривой 3- F вследствие выделения кристаллов β концентрации G . Количество кристаллов β увеличивается и характеризуется отрезком от вертикали I до линии 3- F .

Кристаллы β , выделившиеся из твердого раствора, называются *вторичными кристаллами* и обозначаются символом β_{II} , в отличие от первичных β -кристаллов, выделяющихся из жидкости.

2) В процессе кристаллизации *сплава II* при достижении горизонтальной линии ECD протекает эвтектическая реакция – из жидкости состава, соответствующего точке C , выделяются α -кристаллы состава точки E и β -кристаллы состава точки D :



В равновесии находятся три фазы, следовательно, $C = 2 - 3 + 1 = 0$. Все три фазы имеют определенный состав (проекции точек E , C и D), и температура их превращения постоянна.

В результате кристаллизации *сплава II* кроме первичных кристаллов α образуется также эвтектика $\alpha + \beta$.

При дальнейшем охлаждении вследствие снижения растворимости α -кристаллы выделяют вторичные кристаллы β_{II} , и при комнатной температуре α -кристаллы будут иметь состав, соответствующий точке F .

Диаграмма состояния IV типа *характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, нерастворимы в твердом и образуют химическое соединение.*

Это соединение можно рассматривать как самостоятельный компонент, а диаграмму состояния этого типа – как две сочлененные диаграммы.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых A и B образуют химическое соединение $A_m B_n$, показана на рис. 20.

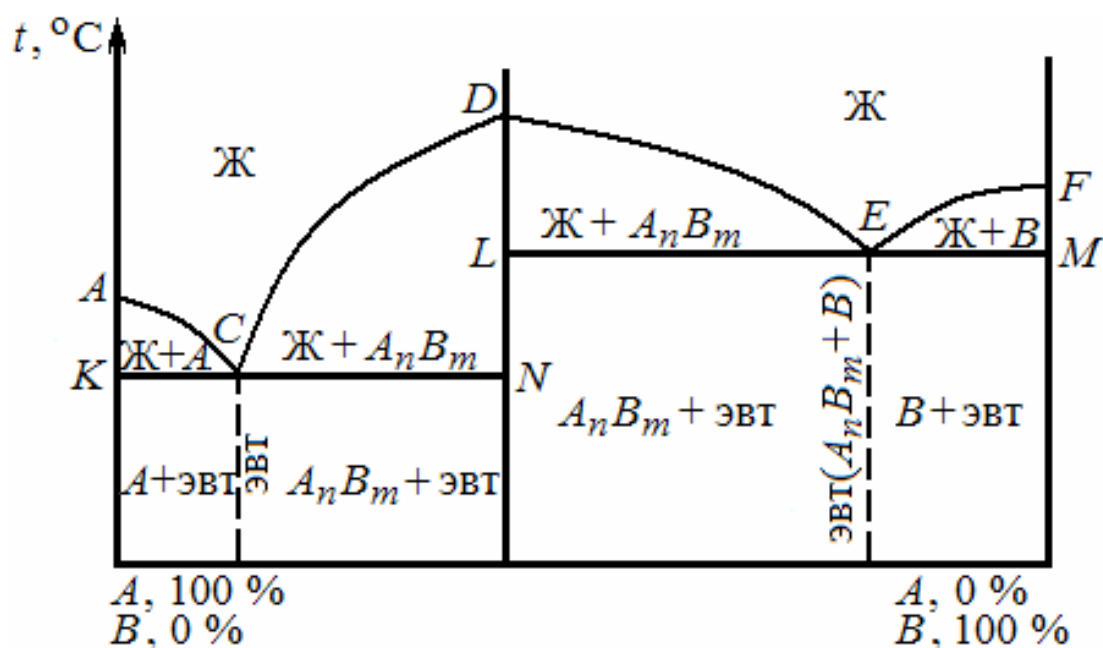


Рис. 20. Диаграмма состояния IV типа

Кристаллизация сплавов по этой диаграмме происходит аналогично кристаллизации сплавов, образующих механическую смесь кристаллов чистых компонентов. Отличие состоит только в том, что кроме выделения кристаллов чистых компонентов A и B происходит еще образование кристаллов химического соединения. Поэтому к ним полностью применимы правила фаз и отрезков.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

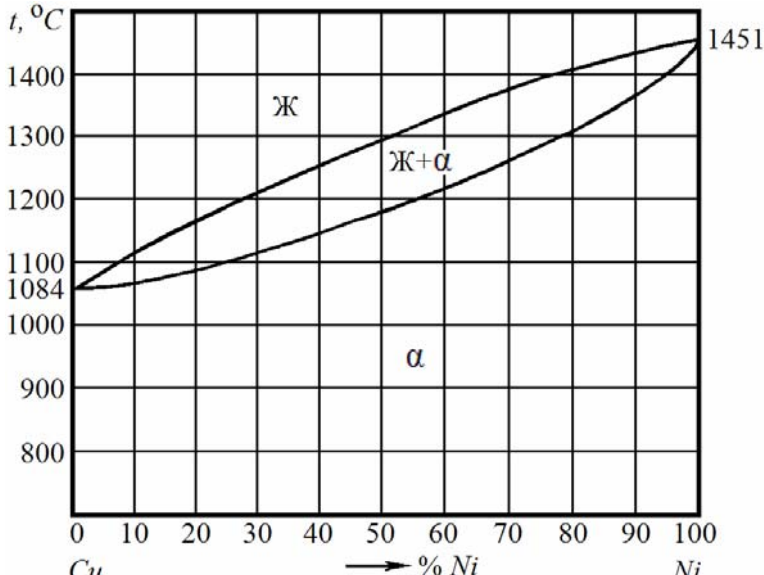
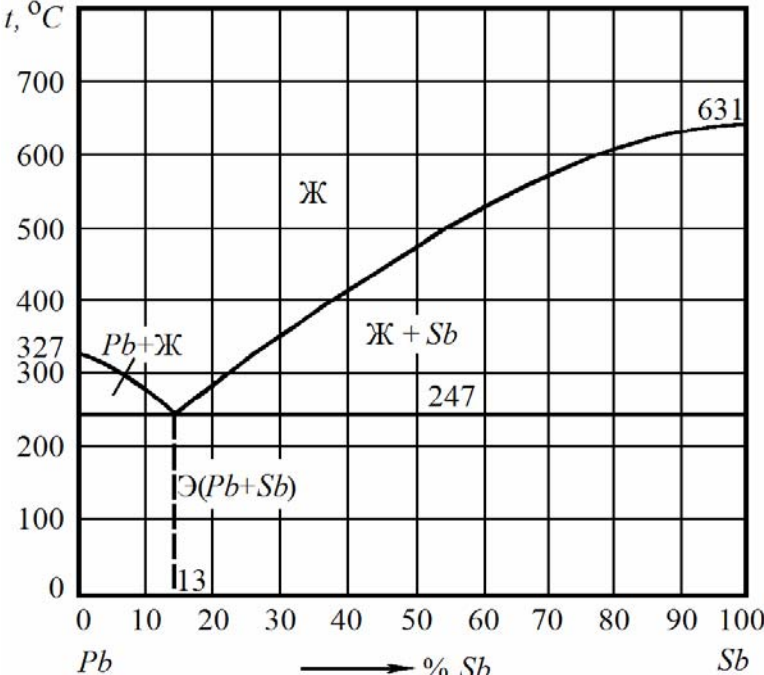
1. В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 5) вычертить заданную диаграмму состояния двойных сплавов. Обозначить все линии диаграммы, отметив линии ликвидус и солидус. Описать строение сплавов в различных областях диаграммы.
2. Построить кривую охлаждения для сплава заданного состава (см. табл. 5) с объяснением всех превращений и зарисовкой микроструктур.
3. Рассчитать число степеней свободы сплава (для всех фазовых областей), концентрацию компонентов в фазах и их количество при заданной температуре (см. табл. 5).
4. Оформить отчет по работе в соответствии с пунктами заданий.

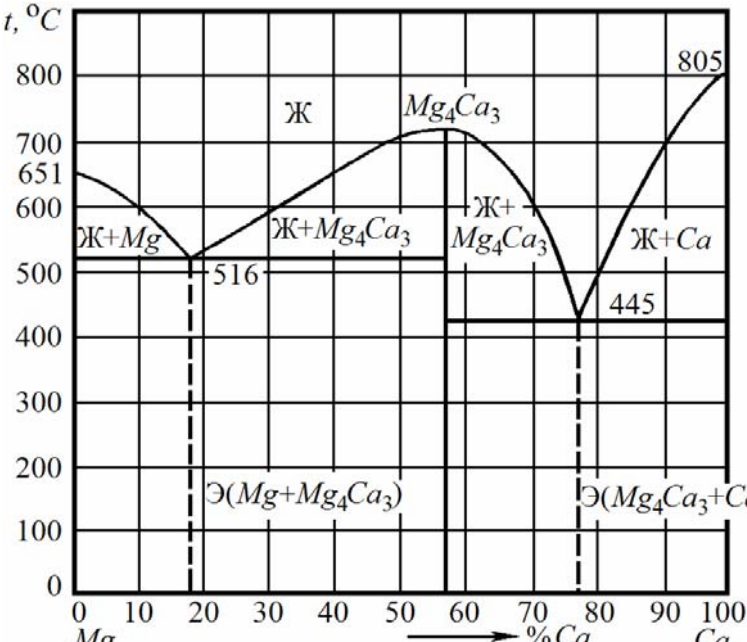
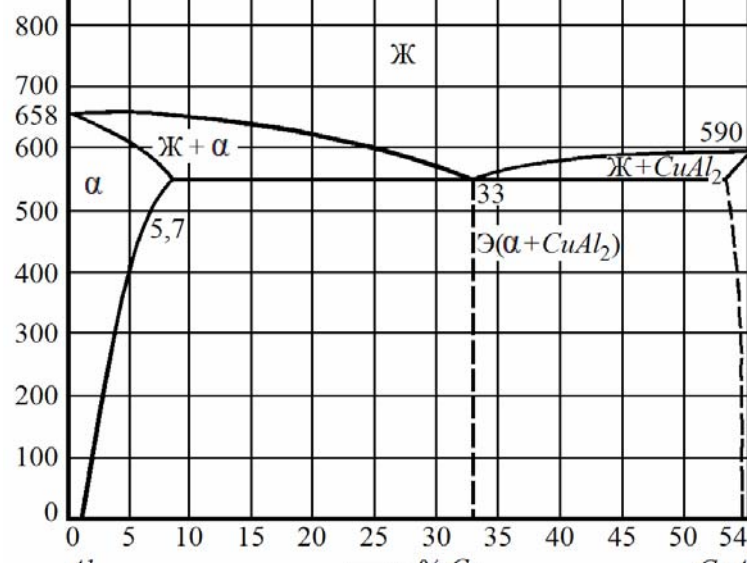
Таблица 5

№ варианта	Состав сплава	Температура, °С	Диаграмма состояния
1	2	3	4
1	90 % Ge	800 °С	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Al – Ge</p>
2	90 % Al	500 °С	
3	60 % Ge	600 °С	
4	90 % Zn	350 °С	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Pb – Sn</p>
5	60 % Sn	250 °С	
6	50 % Zn	300 °С	

1	2	3	4
7	40 % Ge	900 °C	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Mg – Ge</p>
8	10 % Mg	800 °C	
9	20 % Ge	700 °C	
10	50 % Sb	500 °C	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Bi – Sb</p>
11	70 % Bi	400 °C	
12	90 % Sb	600 °C	

1	2	3	4
13	20 % Ag	800 °C	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Cu – Ag</p>
14	70 % Cu	900 °C	
15	90 % Ag	800 °C	
16	70 % Pb	600 °C	<p>Диаграмма состояния сплавов системы Pb – Mg</p>
17	10 % Mg	300 °C	
18	50 % Mg	500 °C	

1	2	3	4
19	70 % Ni	1300 °C	 <p>Диаграмма состояния сплавов системы Cu – Ni</p>
20	10 % Cu	1400 °C	
21	40 % Ni	1200 °C	
22	90 % Sb	600 °C	 <p>Диаграмма состояния сплавов системы Pb – Sb</p>
23	30 % Pb	300 °C	
24	70 % Sb	400 °C	

1	2	3	4
25	90 % Ca	500 °C	 <p>Diagram of the Mg-Ca system showing temperature (t, °C) vs. composition (%Ca). Key features include a eutectic at 516°C (Mg-rich) and a peritectic at 445°C (Ca-rich). The intermetallic compound Mg₄Ca₃ is shown with a melting point of 805°C. Regions of liquid (Ж), solid solutions (α), and various two-phase regions (Ж+Mg, Ж+Mg₄Ca₃, Ж+Ca, Mg₄Ca₃) are labeled.</p>
26	60 % Mg	600 °C	
27	60 % Ca	500 °C	
			<p>Диаграмма состояния сплавов системы Mg – Ca</p>
28	10 % Cu	600 °C	 <p>Diagram of the Al-Cu system showing temperature (t, °C) vs. composition (%Cu). Key features include a eutectic at 590°C (Cu-rich) and a peritectic at 33°C (Al-rich). The intermetallic compound CuAl₂ is shown with a melting point of 54.1°C. Regions of liquid (Ж), solid solutions (α), and various two-phase regions (Ж+α, Ж+CuAl₂, α+CuAl₂) are labeled.</p>
29	80 % Al	600 °C	
30	15 % Cu	600 °C	
			<p>Диаграмма состояния сплавов системы Al – Cu</p>

Контрольные вопросы

1. Что такое твердый раствор? Перечислите виды твердых растворов.
2. Приведите уравнение правила фаз и объясните физический смысл числа степеней свободы.
3. Какой сплав называют эвтектическим, до- и заэвтектическим?
4. Как будет выглядеть участок кривой охлаждения, если число степеней свободы равно двум и имеется одна фаза?
5. Каким образом определяется концентрация фаз и их количественное соотношение?

Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД

Цель работы: изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов; проанализировать превращения, происходящие в сплавах при их охлаждении; определить фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от их химического состава и температуры.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Диаграмма состояния системы железо – углерод, вычерченная в масштабе.
2. Альбом с фотографиями микроструктур железоуглеродистых сплавов.

КОМПОНЕНТЫ И СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ

Важнейшими конструкционными материалами в машиностроении являются железоуглеродистые сплавы: техническое железо, стали и чугуны. Основа для изучения процессов формирования их структуры – диаграмма состояния системы железо – углерод (рис. 21).

Основными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод.

Углерод – неметаллический элемент с температурой плавления 3500 °С. В железоуглеродистых сплавах может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита Fe_3C (Ц) или в свободном состоянии в виде графита (Г).

Железо – пластичный металл с температурой плавления 1539 °С и плотностью $7,86 \cdot 10^3$ кг/м³. Железо имеет две полиморфные модификации: α и γ . Модификация α -железа существует при температурах ниже 911 °С и выше 1392 °С (рис. 22). В интервале температур 1392-1539 °С α -железо часто обозначают как δ -железо.

Кристаллическая решетка α -железа – объемно-центрированный куб (ОЦК). До температуры 768 °С α -железо магнитно (ферромагнитно). Температуру 768 °С, соответствующую магнитному превращению, то есть переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри.

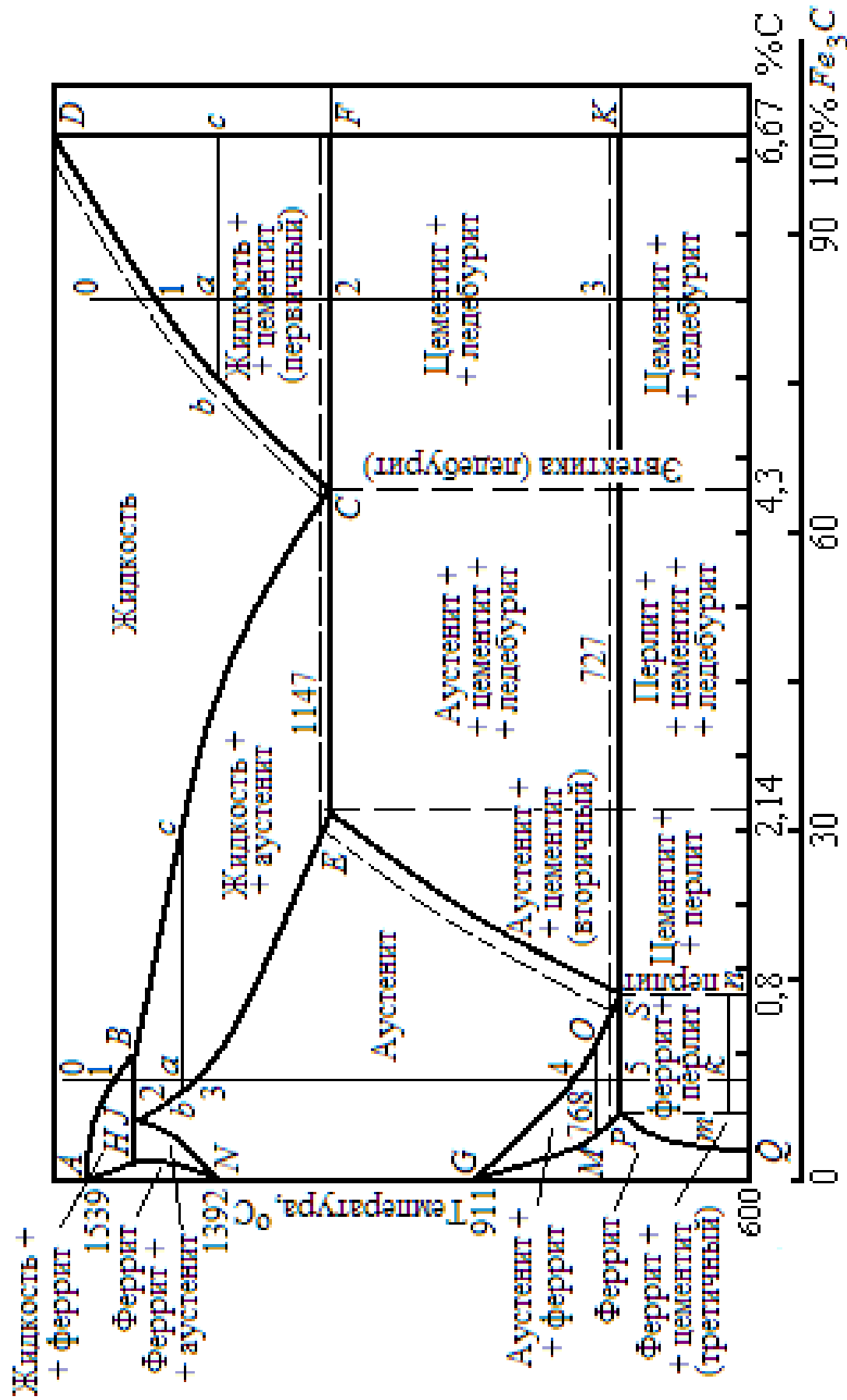


Рис. 21. Диаграмма состояния железа – углерод

Кристаллическая решетка γ -железа гранецентрированная кубическая (ГЦК). Оно парамагнитно и существует при температуре 911-1392 °С.

Температурные интервалы существования полиморфных модификаций железа (α и γ) показаны на кривой охлаждения чистого железа (рис. 22).

Температуру полиморфного и магнитного превращения железа принято называть критическими точками и обозначать их буквой А с индексами 2, 3, 4, указывающими на характер превращения. Точку Кюри обозначают A_2 ; критическую точку превращения $Fe_\alpha \rightleftharpoons Fe_\gamma$ при температуре 911 °С принято обозначать A_3 ; критическую точку перехода $Fe_\gamma \rightleftharpoons Fe_\alpha$ при 1392 °С – A_4 .

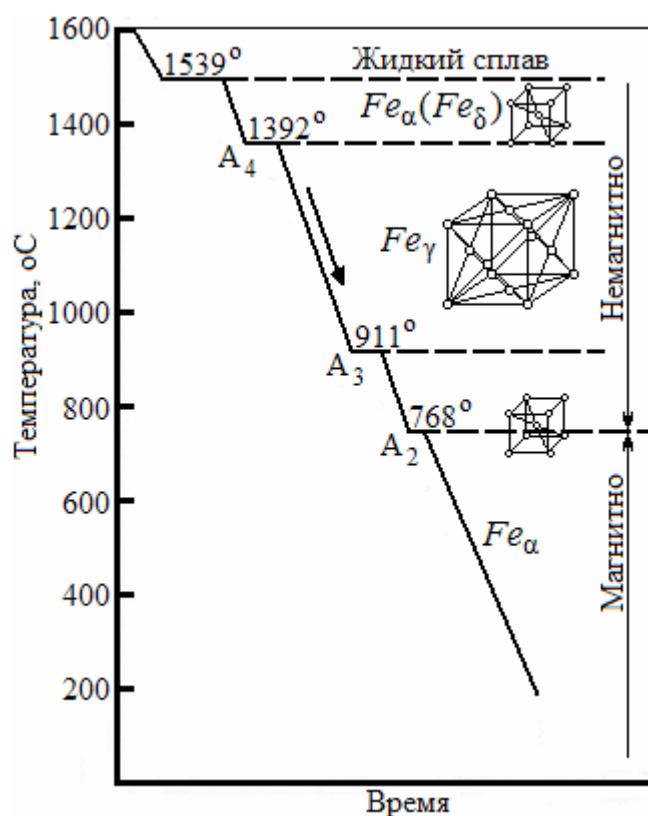


Рис. 22. Кривая охлаждения чистого железа

В сплавах железа с углеродом различают следующие структурные составляющие.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Кристаллическая решетка феррита – объемно-центрированный куб. Феррит магнитен до температуры 768 °С, имеет небольшую твердость (НВ 80) и высокую пластичность ($\delta = 50\%$). На диаграмме состояния (см. рис. 21) феррит занимает область GPQ и AHN . Максимальная растворимость углерода в α -железе при 20 °С приблизительно равна

0,006 % (точка *Q*), при 727 °С – 0,025 % (точка *P*) и при 1499 °С – 0,1% (точка *H*).

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Кристаллическая решетка аустенита – гранцентрированный куб. Максимальная растворимость углерода в γ -железе при температуре 1147 °С равна 2,14 % (точка *E*), при 727 °С – 0,8 % (точка *S*). Аустенит немагнитен и обладает высокой пластичностью ($\delta=40-50$ %). Твердость аустенита составляет НВ 170-180. На диаграмме состояния аустенит занимает область *NJESG*.

Цементит (Ц) – карбид железа, химическое соединение Fe_3C . Содержание углерода в цементите 6,67 %. Цементит обладает высокой твердостью (НВ 800), хрупок и имеет сложную ромбическую решетку.

Различают цементит первичный, вторичный и третичный.

Цементит первичный ($Ц_I$) кристаллизуется по линии *CD*.

Цементит вторичный ($Ц_{II}$) выделяется из аустенита по линии *SE* в связи с уменьшением растворимости углерода в аустените при понижении температуры до +20 °С.

Цементит третичный ($Ц_{III}$) выделяется из феррита по линии *PQ* за счет уменьшения растворимости углерода в феррите при снижении температуры до +20 °С.

Цементит является метастабильной фазой. При определенных условиях происходит его распад с образованием свободного графита.

Графит (Г) – углерод, выделяющийся в железоуглеродистых сплавах в свободном состоянии. Графит электропроводен, химически стоек, мягок, имеет гексагональную кристаллическую решетку.

Перлит (П) – эвтектоидная смесь феррита и цементита. Перлит образуется при температуре 727 °С (линия *PK*) в результате распада аустенита с концентрацией углерода 0,8 %. В зависимости от формы частичек цементита перлит может быть пластинчатым и зернистым. Пластинчатый перлит обладает твердостью НВ 200-250, зернистый – 160-200.

Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита. Ледебурит кристаллизуется при температуре 1147 °С из жидкости с концентрацией углерода, равной 4,3 %. При температуре ниже 727 °С ледебурит состоит из перлита и вторичного цементита и называется ледебурит превращенный. Ледебурит очень тверд и хрупок.

Существуют две диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов: метастабильная, характеризующая превращения в системе $Fe - Fe_3C$, и стабильная, характеризующая превращения в системе $Fe - C$. На рис. 21 сплошными линиями показана метастабильная диаграмма, пунктирными – стабильная.

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО – ЦЕМЕНТИТ»

Каждая точка диаграммы состояния «железо-цементит» характеризует определенный состав сплава при соответствующей температуре (табл. 6).

Линия ABCD – линия ликвидус (выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии), соответствует началу первичной кристаллизации железоуглеродистых сплавов.

Т а б л и ц а 6

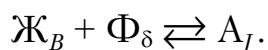
Характерные точки диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Обозначение точки	Температура, °С	Концентрация углерода, %	Определение точки
<i>A</i>	1539	0	Температура плавления железа
<i>B</i>	1499	0,51	Состав жидкой фазы при перитектической реакции
<i>C</i>	1147	4,3	Состав эвтектики – ледебурита
<i>H</i>	1499	0,1	Состав феррита при перитектической реакции
<i>J</i>	1499	0,16	Состав аустенита при перитектической реакции
<i>N</i>	1392	0	Полиморфное превращение Fe _α ⇌ Fe _γ
<i>E</i>	1147	2,14	Предельная растворимость углерода в Fe _γ
<i>D</i>	1260	6,67	Температура плавления цементита Fe ₃ C
<i>G</i>	911	0	Полиморфное превращение Fe _γ ⇌ Fe _α
<i>P</i>	727	0,025	Предельная растворимость углерода в Fe _α
<i>S</i>	727	0,8	Состав эвтектоида – перлита
<i>Q</i>	20	0,006	Минимальная растворимость углерода в Fe _α

Линия ANJESF (ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии) соответствует завершению первичной кристаллизации.

Линия AB показывает температуру начала выделения из жидкой фазы кристаллов феррита (Φ_δ). Состав жидкой фазы при понижении температуры изменяется по линии *AB*; состав твердой фазы – по линии *AN*. При достижении температуры 1499 °С состав жидкой фазы (0,5 % C) будет соответствовать точке *B*, а состав δ-феррита (0,1 % C) – точке *H*. Жидкая фаза и феррит указанных составов при данной температуре взаимодействуют между собой, в результате чего образуются кристаллы аустенита, содержащего 0,16 % C (точка *J*).

Преобразование, при котором две фазы – жидкость и твердые кристаллы определенных составов взаимодействуют между собой и образуют третью фазу определенного состава, называется *перитектическим превращением*. Следовательно, линия HJB соответствует температуре перитектического превращения:



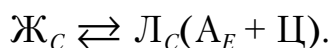
На линии перитектики находятся в равновесии три фазы строго определенного состава. В данном случае: жидкая фаза, содержащая углерода 0,5 % (точка B); феррит – 0,1 % С (точка H) и аустенит – 0,16 % С (точка J). Число степеней свободы $C = 0$.

Температурные точки, образующие линию NJ , обозначают A_4 .

Ниже перитектической температуры структура сплавов, расположенных левее точки J , состоит из кристаллов феррита и аустенита, а сплавов, лежащих правее точки J , – из жидкой фазы и аустенита. Процесс кристаллизации заканчивается по достижении температур, соответствующих линии JE .

Линии BG и DC соответствуют температурам начала кристаллизации аустенита (BC) и первичного цементита (DC). При выделении из жидкой фазы кристаллов аустенита ее состав обогащается углеродом и по мере понижения температуры изменяется по линии BC . Состав твердой фазы (аустенита) при этом обогащается углеродом и изменяется по линии JE . При выделении из жидкой фазы кристаллов первичного цементита ее состав обедняется углеродом и с понижением температуры изменяется по линии DC . Состав твердой фазы (цементита) остается постоянным (6,67 % С).

При достижении температуры 1147 °С состав жидкой фазы для сплавов, расположенных от 2,14 % С (точка E) до 6,67 % С (точка F) будет соответствовать точке C (4,3 % С). При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы закристаллизуется с образованием эвтектической механической смеси, содержащей 4,3 % С. Эвтектика состоит из аустенита состава точки E (2,14 % С) и цементита, содержащего 6,67 % С углерода, и называется ледебуритом. Следовательно, линия ECF соответствует температуре конца первичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 2,14 %, и температуре эвтектического превращения:



При строго определенной температуре (1147 °С) в равновесии находятся три фазы определенного состава: жидкая фаза, содержащая

4,3 % С (точка *C*), аустенит – 2,14 % С (точка *E*), цементит – 6,67 % С. Число степеней свободы $S = 0$.

Доэвтектические сплавы, содержащие углерода от 2,14 % (точка *E*) до 4,3 % (точка *C*), после кристаллизации состоят из кристаллов аустенита, вторичного цементита и ледебурита; заэвтектические, содержащие от 4,3 % С (точка *C*) до 6,67 % С (точка *F*), – из кристаллов первичного цементита и ледебурита. Структура эвтектического сплава, содержащего 4,3 % углерода, состоит из одного ледебурита. Сплавы, расположенные левее точки *E*, после окончания процесса кристаллизации (область *GSEJN*) имеют структуру одного аустенита.

Структурные превращения в железоуглеродистых сплавах, находящихся в твердом состоянии, связаны с полиморфным превращением железа и с изменением растворимости углерода в железе в зависимости от температуры сплава.

Линии *GS* и *ES* показывают температуры начала вторичной кристаллизации. Температуры, соответствующие линиям *GS* и *ES*, принято обозначать соответственно A_3 и A_{cm} .

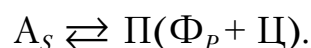
В сплавах, расположенных левее точки *S*, при понижении температуры ниже линии *GS* аустенит превращается в феррит. Перестройка кристаллических решеток протекает в интервале температур *GS-GP*. Поэтому в области *GPS* железоуглеродистые сплавы имеют двухфазную структуру: аустенит и феррит. Линия *GP* показывает температуру конца превращения аустенита в феррит.

В сплавах, расположенных правее точки *S*, при понижении температуры вследствие уменьшения растворимости углерода из аустенита выпадают кристаллы вторичного цементита.

Состав аустенита при понижении температуры непрерывно изменяется: для сплавов, расположенных левее точки *S*, – обогащается углеродом и изменяется по линии *GS*; для сплавов, лежащих правее точки *S*, – обедняется углеродом и изменяется по линии *ES*.

При достижении температуры 727 °С состав аустенита для всех сплавов, содержащих углерода более 0,025 %, будет соответствовать точке *S* (0,8 % С). При этой температуре аустенит превращается в эвтектоидную механическую смесь (перлит), содержащую то же количество углерода, что и аустенит, то есть 0,8 %, и состоящую из феррита состава точки *P* (0,025 % С) и цементита, содержащего 6,67 % углерода.

Следовательно, линия *PSK* показывает температуру конца вторичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 0,025 %, и температуру эвтектоидного превращения:



Образование перлита происходит по линии PSK при строго определенной постоянной температуре ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) и обозначается A_1 . При этом в равновесии находятся три фазы: аустенит, содержащий $0,8\%$ углерода, феррит – $0,025\%$ и цементит – $6,67\%$. Число степеней свободы $C = 0$.

Из диаграммы состояния видно, что структура сплавов, расположенных левее точки S , ниже температуры эвтектоидного превращения (A_1) состоит из перлита и феррита.

Количество феррита увеличивается с уменьшением углерода в сплаве, и при содержании углерода $0,025\%$ (точка P) и менее структура сплава будет состоять из одного феррита. Структура сплава, содержащего $0,8\%$ углерода, ниже $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ будет состоять из одного перлита. С увеличением содержания углерода количество цементита растет. Структура сплавов, расположенных правее точки S , будет состоять из: вторичного цементита и перлита (от $0,8\%$ C до $2,14\%$ C); перлита, вторичного цементита и ледебурита (от $2,14\%$ C до $4,3\%$ C); ледебурита ($4,3\%$ C); первичного цементита и ледебурита (от $4,3\%$ C до $6,67\%$ C).

Вторичный цементит для сплавов, содержащих углерода $4,3\%$ и более, входит в состав ледебурита и не является самостоятельной структурой.

При охлаждении железоуглеродистых сплавов ниже линии PSK ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) начинается третичная кристаллизация, связанная с уменьшением растворимости углерода в α -железе.

Линия PQ показывает температуру начала кристаллизации третичного цементита из феррита. Третичный цементит ниже $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ как структурная составляющая может присутствовать у всех сплавов, содержащих от $0,006$ до $0,025\%$ углерода.

Структура железоуглеродистых сплавов после затвердевания зависит от содержания в них углерода. Сплавы, содержащие углерода менее $0,025\%$, называются *техническим железом* и имеют структуру $\Phi + \text{Ц}_{III}$.

Сплавы железа с углеродом с содержанием углерода $0,025$ - $2,14\%$, в структуре которых присутствует перлит, называются *сталями*. Стали делятся на:

доэвтектоидные ($C = 0,025$ - $0,8\%$, структура $\Phi + \text{П}$);

эвтектоидные ($C = 0,8\%$, структура П);

заэвтектоидные ($C = 0,8$ - $2,14\%$, структура $\text{П} + \text{Ц}_{II}$).

Сплавы железа с углеродом, которые содержат от $2,14$ до $6,67\%$ C и в структуре которых присутствует эвтектика – ледебурит, называются *белыми чугунами*. Чугуны подразделяются на:

доэвтектические ($C = 2,14$ - $4,3\%$, структура $\text{П} + \text{Л} + \text{Ц}_{II}$);

эвтектические ($C = 4,3\%$, структура Л);

заэвтектические ($C > 4,3\%$, структура $\text{Л} + \text{Ц}_I$).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

О фазовых превращениях, происходящих в сплавах, можно судить по кривым их охлаждения или нагревания. Правильность построения кривой охлаждения (нагревания) проверяют, применяя правило фаз. Для определения состава фаз, количественного соотношения фаз и структурных составляющих при заданной температуре используют правило отрезков.

Рассмотрим процесс структурообразования в охлаждаемых железоуглеродистых сплавах.

Пример 1. Сплав железа и углерода, содержащий 0,4 % С.

1. Сплав относится к доэвтектоидной стали.
2. Условия затвердевания сплава соответствуют диаграмме состояния с перитектическим превращением.
3. Кривая охлаждения сплава, построенная с применением правила фаз, представлена на рис. 23, а.

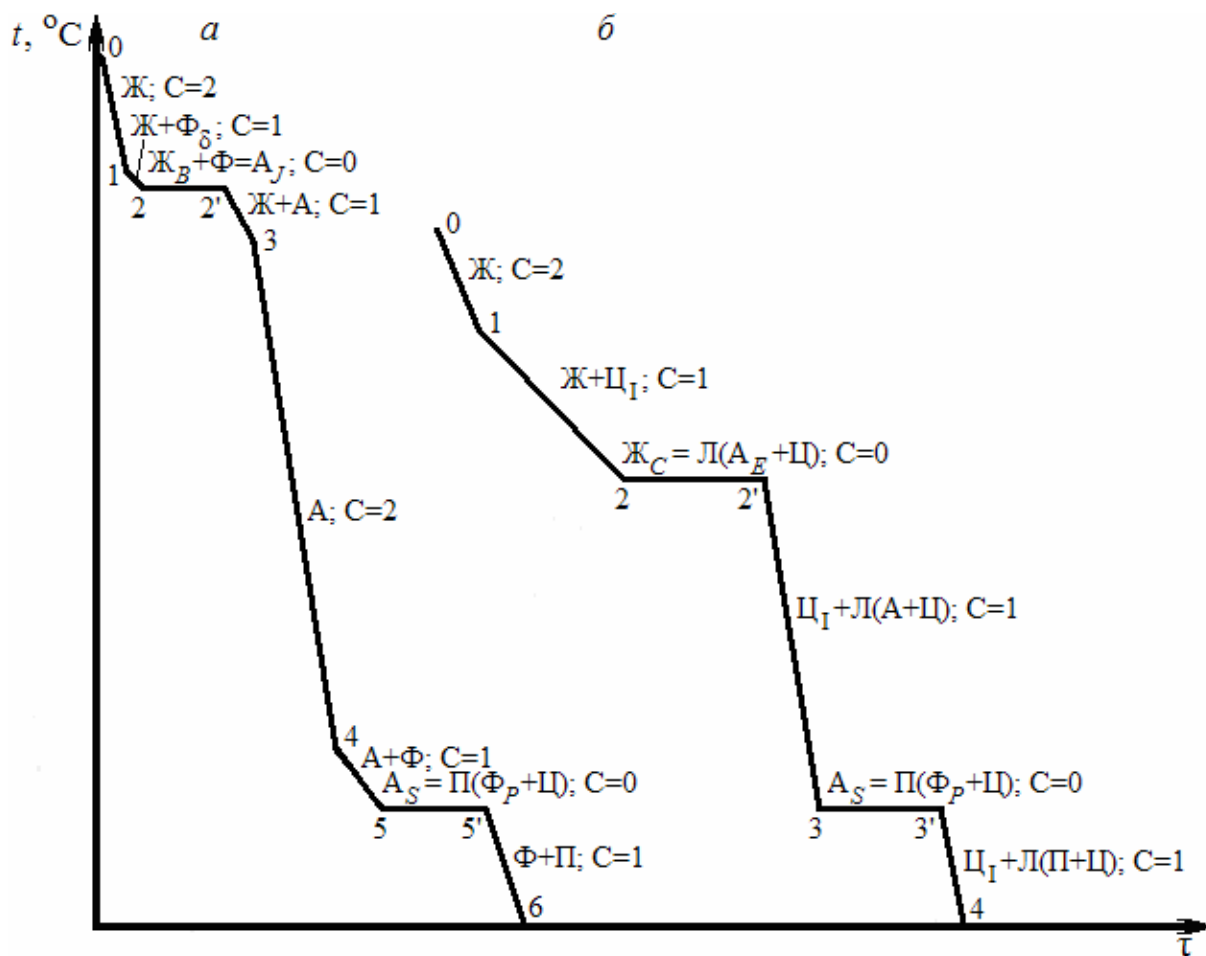


Рис. 23. Кривые охлаждения сплавов с содержанием углерода 0,4 % (а) и 5,5 % (б)

Выше точки 1 сталь находится в жидком состоянии. В интервале температур, соответствующих интервалу 1-2, из жидкой фазы выпадают кристаллы δ -феррита. При этом выделяется теплота, и на данном участке кривой охлаждения сплава замедляется. При температуре, соответствующей точкам 2-2, происходит трехфазное перитектическое превращение. Жидкость состава B взаимодействует с ранее выпавшими кристаллами δ -феррита состава H . В результате образуется новая твердая фаза – аустенит состава J .

Избыточная жидкость кристаллизуется при непрерывном охлаждении в интервале температур 2-3 с образованием аустенита. В интервале температур 3-4 закристаллизовавшийся сплав со структурой аустенита непрерывно охлаждается. При температурах, соответствующих интервалу 4-5, происходит превращение аустенита в феррит. При этом выделяется теплота и сплав охлаждается более медленно.

При температуре, соответствующей точке 5, происходит трехфазное эвтектоидное превращение, когда из аустенита образуется перлит ($\Phi + \Psi$). Структура охлаждающейся стали при температурах ниже точки 5 – феррит и перлит.

4. Количество жидкой $Q_{ж}$ и твердой $Q_{тв}$ фаз в точке a соответственно равно отношениям av/vc и ac/vc 100 %. Содержание углерода в жидкой фазе приблизительно равно 1,0%, в феррите – 0,3 %.

5. Количество феррита Q_{Φ} и перлита Q_{Π} в структуре при комнатной температуре соответственно составляет: kn/mn и mk/mn 100 %.

Пример 2. Сплав железа с углеродом, содержащий 5,5 % С.

1. Сплав относится к заэвтектическому белому чугуну.

2. Условия затвердевания соответствуют диаграмме состояния IV типа.

3. Кривая охлаждения представлена на рис. 23, б.

4. Количество жидкой $Q_{ж}$ и твердой $Q_{тв}$ фазы в точке a соответственно равно отношениям: ac/vc и av/vc 100 %. Содержание углерода в жидкой фазе приблизительно равно 5 %, в цементите – 6,67 %.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Начертить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов с указанием значений температур и концентраций углерода.

2. Описать фазы и структурные составляющие сплавов, указать их область существования на диаграмме состояния.

3. В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 7) привести химический состав и техническое название заданных сплавов. Указать тип диаграммы состояния, к которому относится условие затвердевания сплава.

4. Построить кривую охлаждения сплава № 1 (см. табл. 7), на которой указать критические точки, соответствующие происходящим в сплаве фазовым превращениям. Проверить правильность построения кривой охлаждения, используя правило фаз.

5. Определить количество жидкой и твердой фаз сплава № 2, а также их состав при указанной температуре (см. табл. 7). Определить количество структурных составляющих в сплаве при комнатной температуре.

9. Оформить отчет в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

Таблица 7

№ варианта	Состав сплава № 1	Состав сплава № 2	Температура, °С	№ варианта	Состав сплава № 1	Состав сплава № 2	Температура, °С
1	0,2 % С	2,5 % С	1200 °С	16	0,04 % С	2,0 % С	1250 °С
2	1,0 % С	0,12 % С	1510 °С	17	3,7 % С	0,3 % С	1510 °С
3	4,3 % С	1,0 % С	1400 °С	18	1,8 % С	4,1 % С	1155 °С
4	0,02 % С	3,8 % С	1200 °С	19	4,6 % С	5,4 % С	1200 °С
5	2,0 % С	6,1 % С	1200 °С	20	0,3 % С	3,1 % С	1200 °С
6	0,14 % С	0,48 % С	1450 °С	21	6,6 % С	6,6 % С	1200 °С
7	3,25 % С	2,0 % С	1300 °С	22	2,12 % С	2,6 % С	1300 °С
8	0,8 % С	3,5 % С	1200 °С	23	0,9 % С	1,4 % С	1400 °С
9	1,5 % С	0,6 % С	1450 °С	24	0,08 % С	0,5 % С	1450 °С
10	4,5 % С	1,5 % С	1350 °С	25	5,0 % С	3,7 % С	1200 °С
11	0,1 % С	3,0 % С	1200 °С	26	3,1 % С	1,2 % С	1400 °С
12	2,3 % С	5,0 % С	1180 °С	27	4,1 % С	6,3 % С	1200 °С
13	1,2 % С	6,5 % С	1200 °С	28	0,6 % С	0,46 % С	1450 °С
14	5,8 % С	0,9 % С	1450 °С	29	5,9 % С	3,4 % С	1200 °С
15	0,09 % С	2,9 % С	1250 °С	30	0,16 % С	2,8 % С	1150 °С

Контрольные вопросы

1. Что такое феррит, аустенит, цементит, графит, перлит и ледебурит (дайте определение перечисленных фаз, укажите максимальную растворимость углерода, кристаллическую решетку, свойства)?

2. Какую кристаллическую решетку имеет α -железо? Укажите температурный интервал существования α -железа.

3. Напишите эвтектическую реакцию железоуглеродистого сплава.

4. Какие критические точки обозначают A_1 и A_3 ? Укажите превращения, происходящие при этих температурах.

5. Какие железоуглеродистые сплавы называют сталями и чугунами?

Лабораторная работа № 6 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы: изучить микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии; установить связь между структурой стали, диаграммой состояния «железо – цементит» и свойствами сплавов, научиться определять содержание углерода в стали.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Набор микрошлифов технического железа и углеродистых сталей.
3. Комплект фотографий микроструктур железоуглеродистых сплавов.
4. Диаграмма состояния «железо – цементит».

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Сплавы железа и углерода, содержащие углерода до 2,14 %, называются **сталями**.

В данной работе структуру сталей изучают в равновесном состоянии, при котором в сплавах с течением времени не происходит никаких превращений. Равновесное состояние в сплаве достигается только при очень медленном охлаждении. Равновесные структуры сталей и фазовые превращения в них описываются диаграммой состояния системы «железо – цементит».

Стальные сплавы по содержанию углерода и структуре в равновесном состоянии подразделяются на доэвтектоидные, содержащие углерода до 0,8 %, эвтектоидные – 0,8 % и заэвтектоидные – от 0,8 до 2,14 %.

Доэвтектоидные стали, содержащие углерода до 0,025 %, называются техническим железом. Их структура состоит из феррита и небольшого количества третичного цементита, располагающегося преимущественно по границам зерен феррита. На рис. 24 показана микроструктура технического железа: темные линии – границы зерен феррита, светлое поле – зерна феррита, включения по границам зерен – цементит.

С увеличением содержания углерода в стали меняется ее структура: увеличивается количество цементита и уменьшается - феррита. Феррит представляет собой мягкую пластичную структурную составляющую. Цементит – тверд и хрупок. Соответственно изменению структуры изменяются и свойства стали.

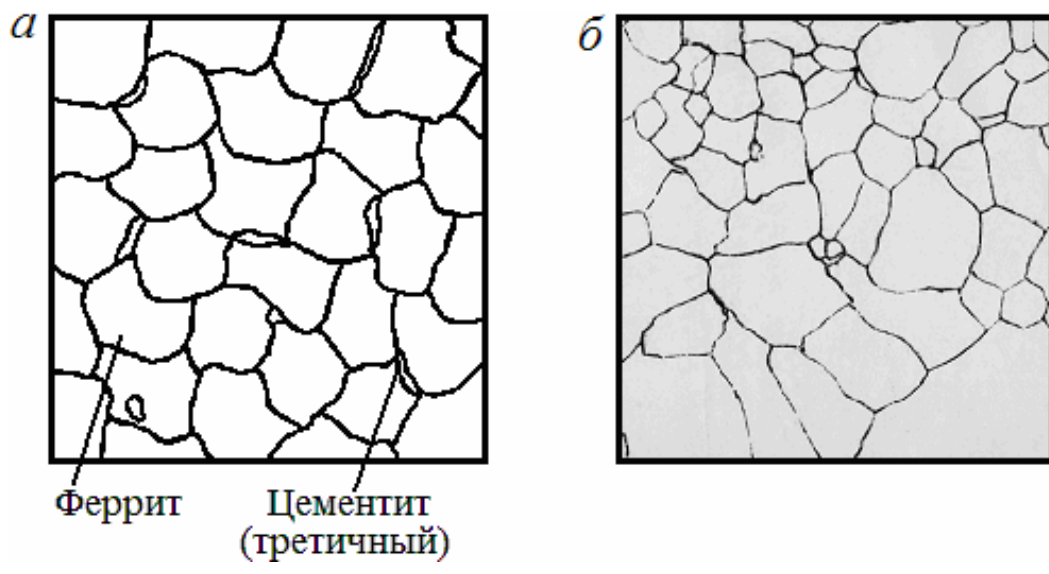


Рис. 24. Микроструктура технического железа: а – схематичное изображение; б – чистое железо

Чем больше углерода в стали, тем выше ее твердость и прочность, но ниже пластичность (рис. 25).

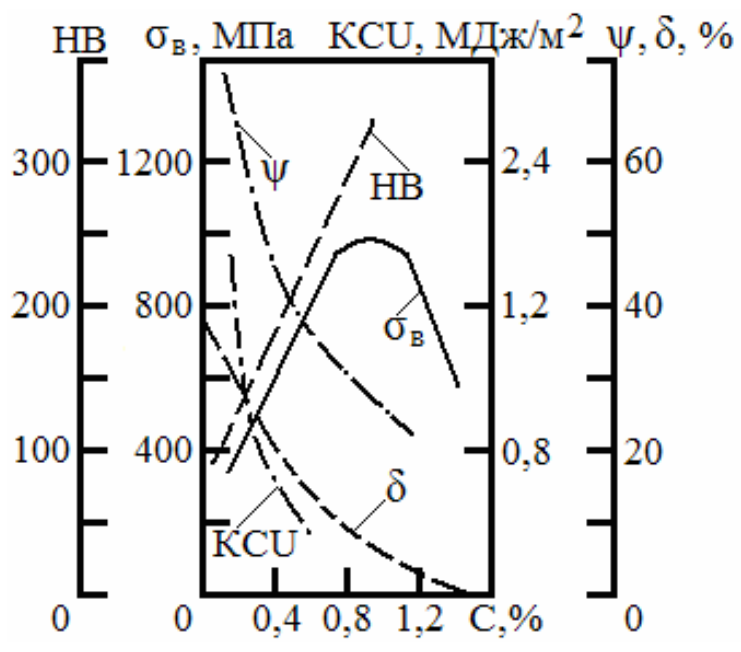


Рис. 25. Влияние углерода на механические свойства стали

Кроме того, углерод изменяет технологические свойства стали. Например, при увеличении его содержания снижается способность сталей деформироваться и затрудняется свариваемость.

Доэвтектоидные стали, содержащие 0,025-0,8 % углерода, имеют структуру, состоящую из феррита (светлые зерна) и перлита (темные

зерна) (рис. 26). Количество феррита и перлита зависит от содержания в стали углерода. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а перлита – увеличивается.

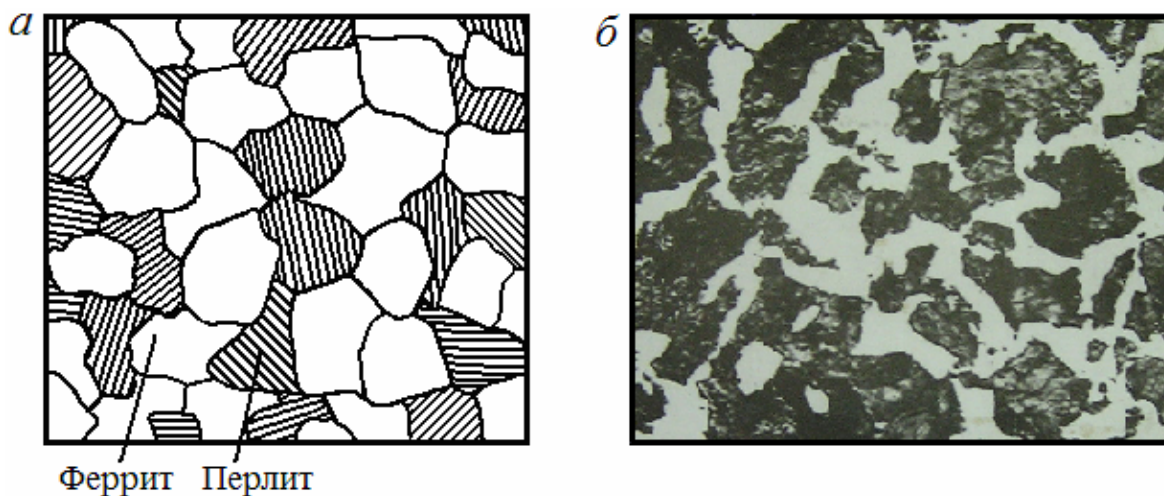


Рис. 26. Микроструктура доэвтектоидной стали:
a – схематичное изображение; *б* – сталь, содержащая 0,3 % С

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно найти примерное содержание в ней углерода. Для этого необходимо определить площадь поверхности шлифа стали, занятой перлитом. Например, она составляет 50 %. Учитывая, что в перлите содержится 0,8 % углерода, из пропорции

$$\begin{aligned} 100 \% \text{ П} - 0,8 \% \text{ С} \\ 50 \% \text{ П} - x \% \text{ С} \end{aligned}$$

можно рассчитать содержание углерода в стали:

$$x = \frac{0,8 \cdot 50}{100} = 0,40 \%$$

По ГОСТ 1050-88 сталь, содержащая 0,4 % С, является качественной конструкционной марки 40.

Содержание свободного феррита в стали

$$\% \Phi = 100\% - \% \text{ П} = 100 - 50 = 50 \%$$

Учитывая, что в цементите содержится 6,67 % углерода, из пропорции

$$\begin{aligned} 6,67 \% \text{ С} - 100 \% \text{ Ц} \\ 0,40 \% \text{ С} - x \% \text{ Ц} \end{aligned}$$

можно вычислить содержание в стали цементита (вторичного):

$$x = \frac{0,40 \cdot 100}{6,67} = 6 \%$$

Количество феррита, входящего в состав перлита, будет равно:

$$\% \Phi_{\text{П}} = \% \text{П} - \% \text{Ц} = 50 - 6 = 44 \%$$

И наоборот, если известно содержание углерода в стали, можно определить ее фазовый состав. Например, оно составляет 0,40 %, тогда из пропорции

$$\frac{100 \% \text{ П} - 0,8 \% \text{ С}}{\% \text{ П} - 0,40 \% \text{ С}}$$

можно вычислить количество перлита в стали:

$$x = \frac{0,40 \cdot 100}{0,8} = 50 \%$$

Эвтектоидная сталь (0,8 % С) имеет структуру, состоящую только из перлита. Перлит является двухфазной структурной составляющей, которая представляет собой смесь феррита и цементита зернистого либо пластинчатого строения. На рис. 27 показана микроструктура зернистого перлита, где на светлом поле феррита равномерно распределены мелкие, округлой формы частицы цементита.

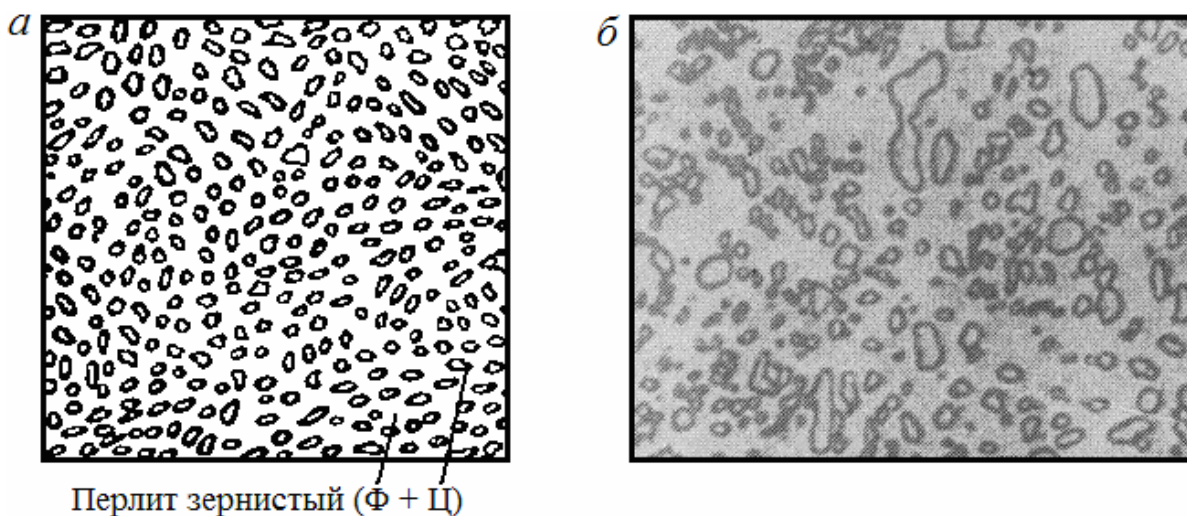


Рис. 27. Микроструктура эвтектоидной стали (зернистый перлит):
a – схематичное изображение; *б* – сталь, содержащая 0,8 % С.

На рис. 28 приведена эвтектоидная смесь частиц феррита и цементита в виде удлиненных пластинчатых кристаллов. Такая структурная составляющая называется пластинчатым перлитом.

Зернистый перлит имеет меньшую твердость (120-220 НВ) по сравнению с пластинчатым (200-250 НВ) и лучше обрабатывается резанием.

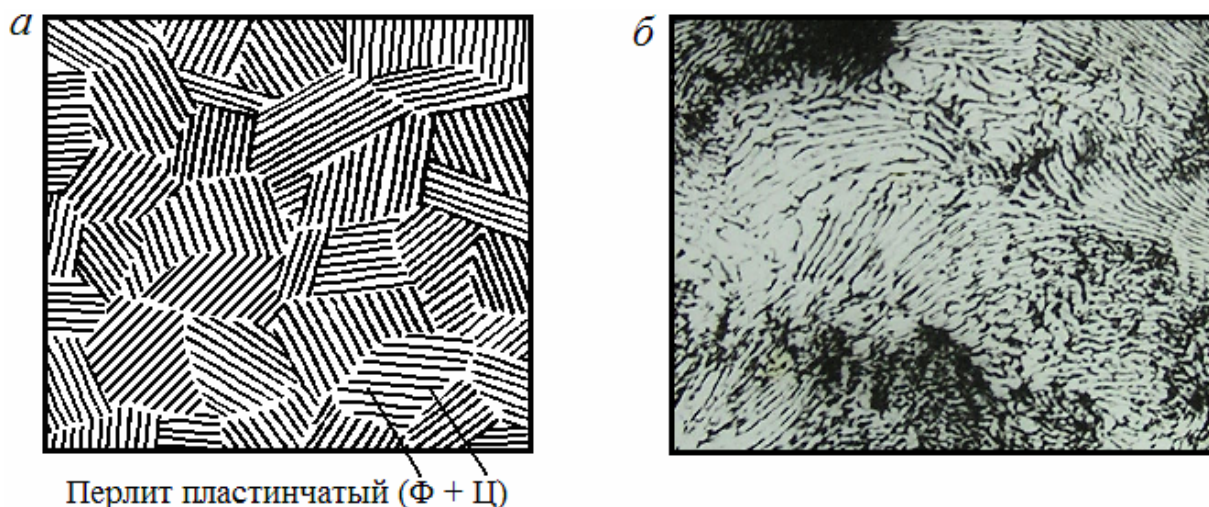


Рис. 28. Микроструктура эвтектоидной стали (пластинчатый перлит):
а – схематичное изображение; *б* – сталь, содержащая 0,8 % С.

Зная содержание углерода в перлите и цементите, можно определить фазовый состав эвтектоидной стали. Из пропорции

$$\begin{aligned} 6,67 \% \text{ С} &- 100 \% \text{ Ц} \\ 0,8 \% \text{ С} &- x \% \text{ Ц} \end{aligned}$$

находим количество цементита в стали:

$$x = \frac{0,8 \cdot 100}{6,67} = 12 \%$$

Исходя из того, что перлит представляет собой механическую смесь феррита и цементита, содержание феррита в эвтектоидной стали составляет:

$$\% \Phi = 100 - 12 = 88 \%$$

Заэвтектоидная сталь содержит от 0,8 до 2,14 % углерода и имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит выделяется из аустенита при медленном охлаждении сплава от температуры A_{ct} (линия *SE*) до температуры A_1 (линия *PSK*) (см. рис. 21) в виде сетки по границам зерен. При достижении температуры A_1 аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения микроструктура заэвтектоидной стали состоит из перлита

и сетки вторичного цементита (рис. 29): белая сетка – вторичный цементит, внутри сетки зерна пластинчатого строения – перлит.

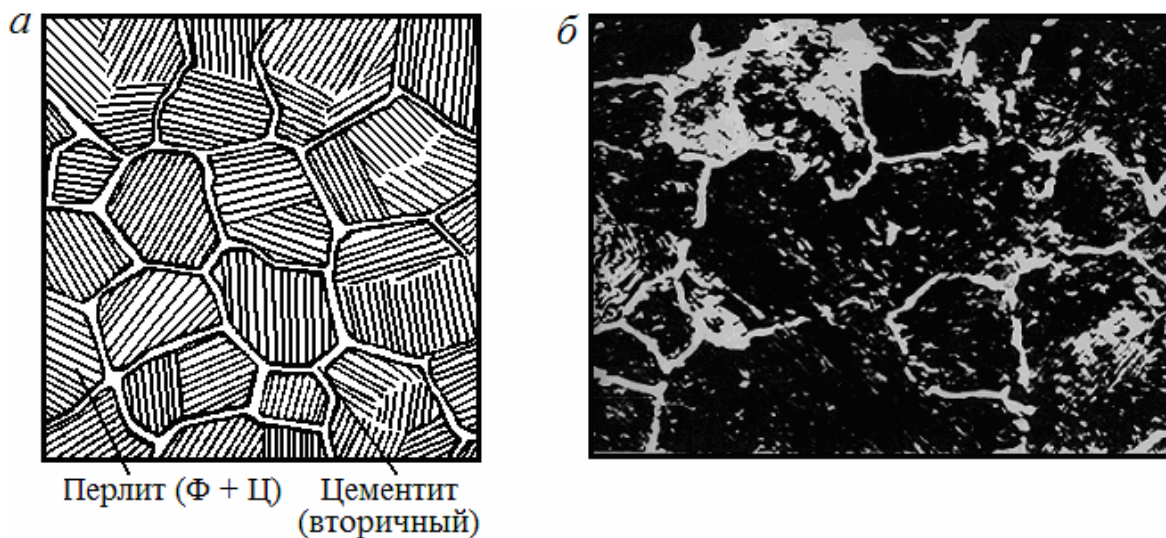


Рис. 29. Микроструктура заэвтектоидной стали:
а – схематичное изображение; *б* – сталь, содержащая 1,2 % С

Чем больше в заэвтектоидной стали углерода, тем более плотной (толстой) получается сетка цементита.

Для определения содержания углерода в заэвтектоидной стали по ее структуре необходимо установить площадь поверхности шлифа, занятую перлитом и цементитом вторичным. Затем из соответствующих пропорций определить содержание углерода, находящегося в перлите и цементите. Сумма полученных результатов представляет собой содержание углерода в заэвтектоидной стали.

Например, площадь шлифа, занимаемая перлитом, составляет 95 %, вторичным цементитом – 5 %. Из пропорций вычисляем:

содержание углерода в перлите и цементите

$$100 \% \text{ П} - 0,8 \% \text{ С}$$

$$95 \% \text{ П} - x \% \text{ С}$$

содержание углерода в перлите

$$x = \frac{95 \cdot 0,8}{100} = 0,76 \% ;$$

$$100 \% \text{ Ц} - 6,67 \% \text{ С}$$

$$5 \% \text{ Ц} - x \% \text{ С}$$

содержание углерода в цементите

$$x = \frac{5 \cdot 6,67}{100} = 0,33 \% .$$

Содержание углерода в стали равно: $0,76 + 0,33 = 1,09 \% .$

По ГОСТ 1435-90 этому содержанию углерода соответствуют стали марок У11 и У11А. Зная содержание углерода в стали, можно определить ее фазовый состав. Из пропорции

$$\begin{array}{l} 6,67 \% \text{ С} - 100 \% \text{ Ц} \\ 1,09 \% \text{ С} - x \% \text{ Ц} \end{array}$$

вычисляем общее количество цементита в стали:

$$x = \frac{1,09 \cdot 100}{6,67} = 16,4 \%$$

Следовательно, содержание феррита в стали составляет:

$$\% \Phi = 100 - 16,4 = 83,6 \%$$

Учитывая, что в эвтектоидной стали, содержится 88 % феррита, из пропорции

$$\begin{array}{l} 88 \% \Phi - 100 \% \text{ П} \\ 83,6 \% \text{ П} - x \% \text{ П} \end{array}$$

определяем количество перлита в стали, содержащей 1,09 % углерода:

$$x = \frac{83,6 \cdot 100}{88} = 95 \%$$

Количество цементита, входящего в состав перлита, вычисляем из пропорции

$$\begin{array}{l} 12 \% \text{ Ц} - 100 \% \text{ П} \\ x \% \text{ Ц} - 95 \% \text{ П} \end{array}$$
$$x = \frac{12 \cdot 95}{100} = 11,4 \%$$

Следовательно, содержание свободного цементита в стали составляет:

$$\% \text{Ц}_{\text{св}} = 16,4 - 11,4 = 5 \%$$

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ

Углеродистые стали по назначению делятся на конструкционные, содержащие до 0,85 % углерода, и инструментальные, содержащие от 0,7 до 1,3 % углерода.

Свойства углеродистых сталей, а следовательно, и область их применения зависят от содержания в них вредных примесей: серы и фосфора. Чем ниже их концентрация в стали, тем выше ее качество. По

содержанию вредных примесей стали подразделяются на стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) содержат до 0,07 % фосфора, 0,06 % серы, 0,06-0,49 % углерода, являются конструктивными, в равновесном состоянии имеют ферритно-перлитную структуру. В зависимости от назначения они подразделяются на три группы: А, Б и В.

Стали маркируют сочетанием букв Ст и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Чем больше номер марки стали, тем больше содержание в ней углерода и перлита и тем выше ее прочность. Стали групп Б и В имеют перед маркой буквы Б и В, указывающие их принадлежность к этим группам. Группа А в обозначении марки стали не указывается.

Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст4, Ст5, Ст6) и предназначены для изготовления изделий, не подвергающихся горячей обработке.

Стали группы Б поставляются с гарантированным химическим составом (БСт0, БСт1, ..., БСт6) и используются для изготовления изделий с применением горячей обработки (ковка, сварка, термическая обработка).

Стали группы В поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (ВСт1, ВСт2, ..., ВСт5) и применяются для изготовления сварных конструкций ответственного назначения.

Степень раскисления стали обозначается добавлением индексов: в спокойных сталях – «сп», полуспокойных – «пс», кипящих – «кп». Например, Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп. Эти стали отличаются друг от друга содержанием кремния: спокойные стали содержат не более 0,30 % Si, полуспокойные – не более 0,17 % Si, кипящие – не более 0,07 % Si. Категория нормируемых свойств (кроме категории 1) указывается последующей цифрой (например, БСт3сп2). Чем выше категория стали, тем большее число нормируемых показателей гарантирует ГОСТ.

Стали обыкновенного качества являются сталями общего назначения и используются для изготовления проката различных профилей и листовой стали, применяемых для производства заклепок, болтов, шайб, кровельного железа и разнообразных металлоконструкций.

Стали качественные конструкционные (ГОСТ1050-88) содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы, 0,05-0,85 % углерода и поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. Их маркируют двузначными числами: 08, 10, 15, 20, ..., 85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 10 содержит в среднем 0,10 % С. Спокойные

стали маркируются без индекса, полуспокойные и кипящие – с индексами соответственно «пс» и «кп».

Стали марок 05кп, 08кп, 08, 10 используют для изготовления деталей сложной конфигурации методом холодной штамповки.

Из сталей марок 05кп, 15, 20 изготавливают болты, гайки, винты, пальцы, оси и другие детали неответственного назначения. Стали, предназначенные для изготовления деталей, работающих в условиях износа (валы, шестерни), подвергают поверхностному упрочнению цементацией.

Для изготовления деталей с высокой прочностью и вязкостью сердцевины (оси, коленчатые валы, шатуны, тяги, втулки и др.) используют стали марок 30, 35, 40, 45.

Из сталей марок 65, 70, 75, 80, 85 изготавливают детали, работающие в условиях трения и вибрационных нагрузок: прокатные валки, диски сцепления, а также пружины и рессоры.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435-90) выпускаются качественными (У7, У8, У9, ..., У13, содержание серы не превышает 0,03 %, фосфора – 0,035 %) или высококачественными (У7А, ..., У13А, содержание серы не превышает 0,02 %, фосфора – 0,03 %).

Условные обозначения в марке стали: буква У – инструментальная сталь, буква А в конце марки – сталь высококачественная; цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента.

Стали, обладающие наибольшей пластичностью (У7, У8), идут на производство молотков, зубил, штампов и других инструментов, работающих в условиях ударных нагрузок. Из сталей марок У10 и У11 изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы и другие режущие и измерительные инструменты для резания мягких материалов, из сталей У12 и У13 – инструменты высокой твердости, работающие без ударных нагрузок (напильники, рашпили).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить микроструктуру доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей, их свойства и область применения.

2. Исследовать под микроскопом шлифы углеродистых сталей, схематично зарисовать наблюдаемую структуру.

3. Изучить влияние содержания углерода и цементита в сталях на их свойства.

4. Изучить классификацию сталей по назначению и содержанию вредных примесей, а также принцип маркировки сталей.

5. Определить содержание углерода, марку и фазовый состав углеродистой стали (по заданию преподавателя), указать ее состав,

свойства и область применения, используя при этом табл. II–V приложения. Результаты занести в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Наименование сплава	Микроструктура сплава	Содержание углерода и фазовый состав сплава	Характеристика сплава и его применение

6. Оформить отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Приведите классификацию сталей по содержанию углерода. Укажите структуру сталей с различным содержанием углерода.

2. Как меняются механические свойства стали с увеличением содержания в ней углерода?

3. Укажите максимальную концентрацию углерода в конструкционных и инструментальных сталях.

4. Напишите обозначение (марку) стали обыкновенного качества любого номера, поставляемой с гарантированными механическими свойствами, кипящей, третьей категории.

5. Укажите содержание серы и фосфора в сталях обыкновенного качества и качественных.

Лабораторная работа № 7 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

Цель работы: изучить микроструктуру различных чугунов, их свойства и область применения.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Комплект микрошлифов чугунов.
3. Набор фотографий микроструктур железоуглеродистых сплавов.
4. Диаграмма состояния «железо – цементит».

ВИДЫ ЧУГУННЫХ СПЛАВОВ

Сплавы железа и углерода, содержащие более 2,14 % углерода, называются **чугунами**. Они отличаются от сталей большим содержанием углерода и примесей – марганца, кремния, серы и фосфора, а также более низкими механическими свойствами. Однако, благодаря их высоким литейным свойствам, достаточной прочности, износостойкости и относительной невысокой стоимости, чугуны широко используются в машиностроении. Основным фактором, определяющим свойства, а следовательно, и область применения чугуна, является его структура.

В зависимости от того, в каком состоянии находится углерод в чугунах, они делятся на белый, серый, высокопрочный и ковкий.

Белым называется чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.

Структура белого чугуна соответствует диаграмме равновесного состояния «железо – цементит» и образуется в результате ускоренного охлаждения сплава при литье.

Наличие в сплаве марганца облегчает образование цементита. Кремний препятствует образованию цементита и способствует графитизации чугуна. Поэтому в белом чугуне содержание кремния минимальное (0,7 %), что благоприятствует образованию устойчивой цементитной структуры.

Белые чугуны по структуре делятся на:

1) *доэвтектические*, содержащие от 2,14 до 4,3 % углерода. Они состоят из перлита, ледебурита и вторичного цементита (рис. 30, а);

2) *эвтектические*, содержащие 4,3 % углерода. Их структура – ледебурит;

3) *заэвтектические*, содержащие от 4,3 до 6,67 % углерода. Их структура состоит из ледебурита и первичного цементита (рис. 30, б).

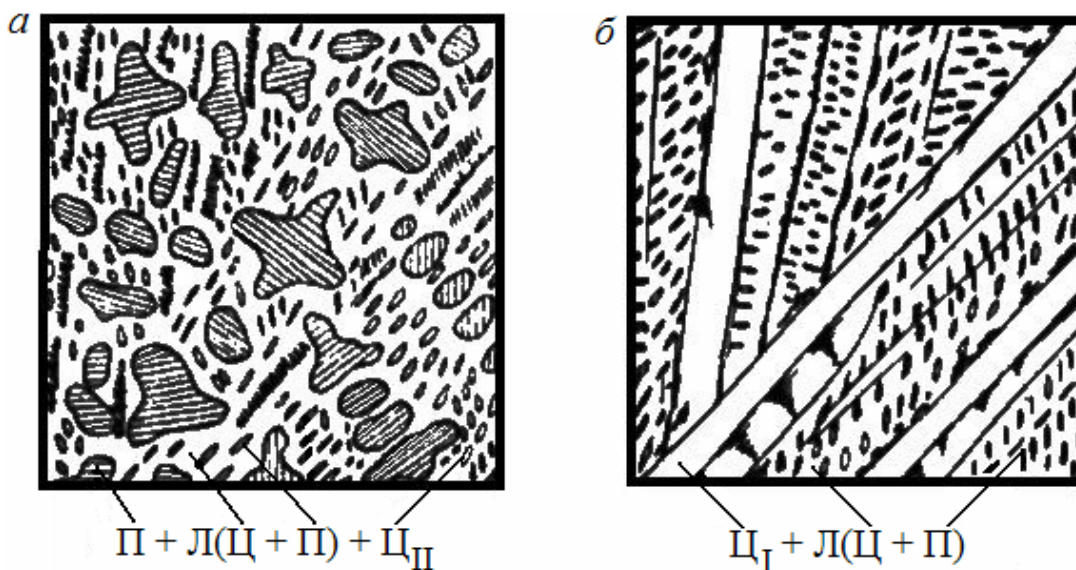


Рис. 30. Микроструктура белых чугунов:
a – доэвтектического; *б* – заэвтектического

Таким образом, характерным признаком структуры белого чугуна является наличие эвтектики – ледебурита.

Из-за присутствия в белых чугунах большого количества цементита они очень твердые (НВ 450-550) и хрупкие и для изготовления деталей машин не используются.

Применение имеют отбеленные чугуны – отливки из серого чугуна со слоем белого чугуна в виде твердой корки на поверхности. Из них изготавливают прокатные валки, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа.

В серых, высокопрочных и ковких чугунах весь углерод или его часть находится в свободном состоянии в виде графита, который обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием и высокие антифрикционные свойства. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны различаются условиями образования графитных включений, их формой, а также механическими свойствами.

В серых чугунах графит выделяется в виде пластинок, в высокопрочных – в виде шаров, в ковких – в виде хлопьев (рис. 31).

По структуре металлической основы все эти чугуны делятся на:

1) *перлитные*, со структурой перлита и графита. В этих чугунах количество связанного углерода составляет 0,8 %;

2) *ферритно-перлитные*, со структурой феррита, перлита и графита. Количество связанного углерода в них от 0,02 до 0,8 %;

3) *ферритные*, со структурой феррита и графита. В этом чугуने весь углерод находится в виде графита.

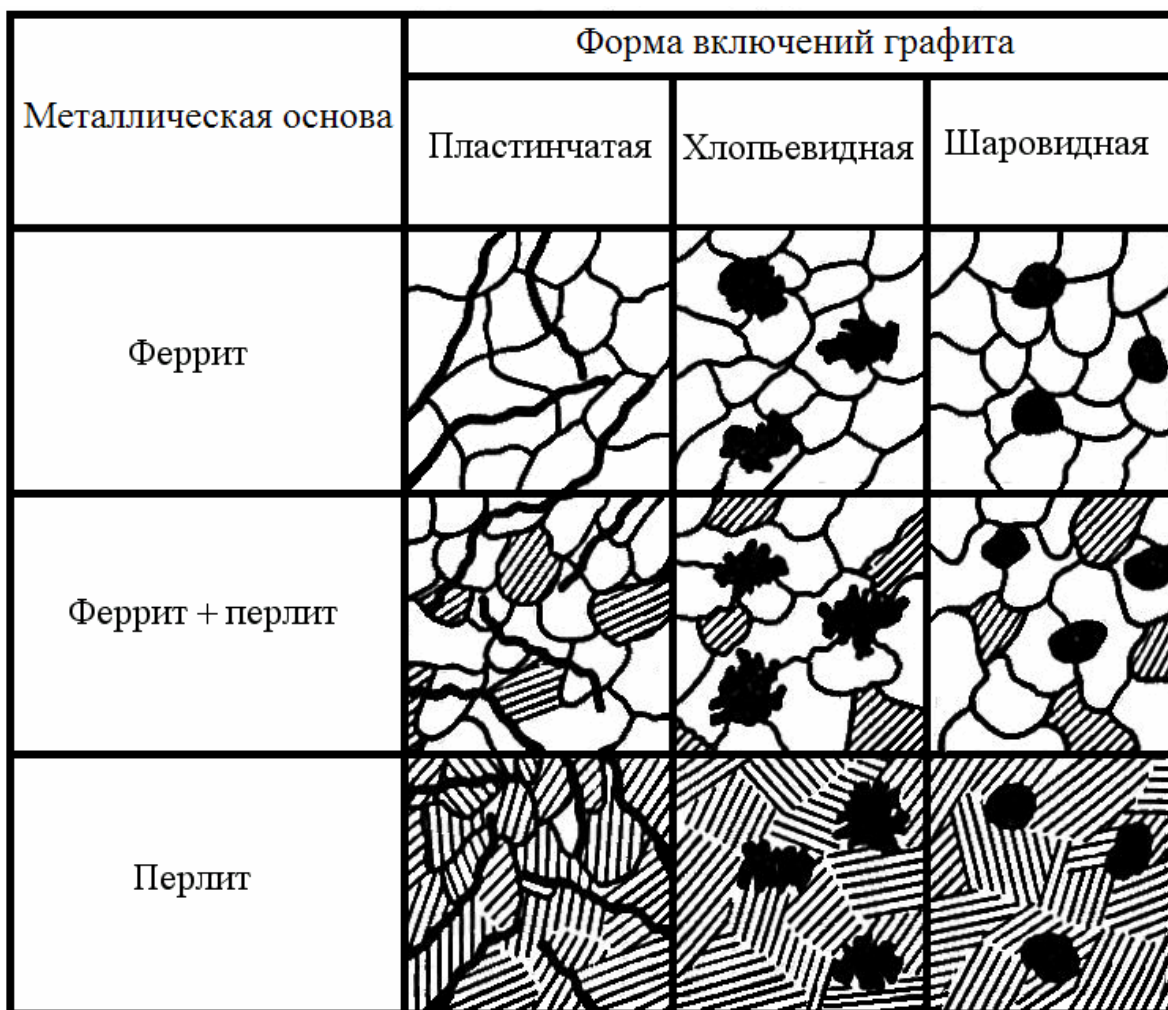


Рис. 31. Микроструктура серого, ковкого и высокопрочного чугунов

Свойства чугунов зависят от свойств металлической основы и от количества, формы и характера распределения графитных включений.

Свойства металлической основы зависят от ее структуры. С увеличением количества перлита твердость и прочность чугуна увеличивается, а пластичность уменьшается. Наличие графита снижает прочность и пластичность металлической основы. Чем больше графита и крупнее его пластинки, тем ниже механические свойства чугуна.

СВОЙСТВА И МАРКИРОВКА СЕРОГО ЧУГУНА

Серый называется чугун, в котором графит имеет пластинчатую форму (см. рис. 31). Серый чугун получается непосредственно в отливке при медленном охлаждении. Содержание основных элементов в серых чугунах находится в следующих пределах: 2,2-3,7 % C; 1-3 % Si;

0,2-1,1 Мп; 0,02-0,3 % Р и 0,02-0,15 % S. В небольших количествах в них могут содержаться хром, никель и медь, которые попадают в чугун из руды. Почти все элементы влияют на условия графитизации, структуру и свойства чугунов.

Степень графитизации в чугунах возрастает с увеличением содержания углерода и кремния. Такое же влияние, но более слабое, оказывают примеси меди и никеля. Элементами, затрудняющими графитизацию, являются марганец, сера и хром.

Свойства серых чугунов зависят от свойств металлической основы и формы графита. Их прочность, твердость и износостойкость растут с увеличением количества перлита в металлической основе, которая по строению аналогична сталям. Пластинчатый графит в сером чугуне выполняет роль надрезов или трещин, пронизывающих металлическую основу. По этой причине серые чугуны имеют низкие прочность и пластичность ($\delta=0,5\%$). Чем крупнее и прямоугольнее форма графитных включений, тем ниже прочность.

Основным показателем механических свойств серых чугунов, в соответствии с ГОСТ 1412-85, является прочность при статическом растяжении.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей уменьшенное в 10 раз значение (в МПа) временного сопротивления при растяжении σ_B (табл. 9). Например, СЧ 10 ГОСТ 1412-85.

Т а б л и ц а 9

Механические свойства чугунов

Марка чугуна	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ	Структура основы
<i>Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)</i>					
СЧ 10	100	-	-	190	Ф
СЧ 25	250	-	-	180-245	Ф+П
СЧ 35	350	-	-	220-275	П
<i>Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85)</i>					
ВЧ 35	350	220	22	140-170	Ф
ВЧ 60	600	370	3	192-227	Ф+П
ВЧ 80	800	490	2	248-351	П
<i>Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79)</i>					
КЧ 30-6	300	-	6	100-163	Ф+до10 %П
КЧ 37-8	370	-	12	110-163	Ф+до10 %П
КЧ60-3	600	-	3	200-269	П+до20 %Ф

Выбор марки чугуна для конкретных условий работы определяется совокупностью технологических и механических свойств.

Ферритные серые чугуны СЧ 10, СЧ 15 предназначены для слабо- и средненагруженных деталей (крышки, маховики, корпуса редукторов, подшипников, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.).

Ферритно-перлитные чугуны СЧ 20, СЧ 25 применяют для деталей, работающих при повышенных нагрузках (блоки цилиндров, картеры двигателя, поршни цилиндров, станины станков и другие отливки).

Более высокими свойствами обладают перлитные модифицированные чугуны СЧ 30, СЧ 35 благодаря мелким разобщенным графитным включениям. Эти чугуны используют для деталей, работающих при высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа (зубчатые колеса, гильзы блоков цилиндров, распределительные валы, шпиндели и т.д.).

Измельчение графитных включений достигается путем модифицирования жидкого чугуна ферросилицием или силикокальцием (0,3-0,6 % от массы шихты). Частицы модификатора в чугунном расплаве служат центрами кристаллизации и обеспечивают мелкозернистую структуру чугуна.

СВОЙСТВА И МАРКИРОВКА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму (см. рис. 31). Его получают путем двойного модифицирования жидкого серого чугуна ферросилицием и магнием (или церием). Магний способствует получению графита в виде шаров, а также измельчению ферритно-цементитной смеси металлической основы (перлита). Шаровидная форма графита меньше ослабляет металлическую основу; поэтому такой чугун обладает большей прочностью и пластичностью по сравнению с серым чугуном.

Чугун после модифицирования имеет следующий химический состав, %: 3,0-3,6 С; 1,1-2,9 Si; 0,3-0,7 Mn, до 0,02 S и до 0,1 P.

Высокопрочный чугун маркируется буквами ВЧ (высокопрочный чугун). После букв следуют цифры, обозначающие уменьшенное в 10 раз значение его временного сопротивления σ_b (см. табл. 9). Например, ВЧ 45 ГОСТ 7293-85.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун подразделяется на перлитный, ферритно-перлитный и ферритный (см. рис. 31). Наименьшей прочностью обладает высокопрочный чугун с ферритной металлической основой, наибольшей – с перлитной.

Из высокопрочных чугунов отливают детали ответственного назначения, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания: коленчатые валы, поршни, детали прокатных станов и т.д.

СВОЙСТВА И МАРКИРОВКА КОВКИХ ЧУГУНОВ

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму (см. рис. 31). Они имеют следующий химический состав, %: 2,4-2,9 С; 1,0-1,6 Si; 0,2-1,0 Mn; до 0,2 S и до 0,8 P.

Ковкие чугуны получают путем графитизирующего отжига белых доэвтектических чугунов.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными (см. рис. 31).

Отжиг на ферритные чугуны проводят по режиму 1 (рис. 32). Отливки из белого чугуна медленно (в течение 20-25 ч) нагревают до температуры несколько ниже эвтектической (950-1000 °С). В процессе продолжительной выдержки (10-15 ч) при такой температуре происходит *первая стадия графитизации*. Она состоит в распаде цементита ледебурита и цементита вторичного на аустенит и графит хлопьевидной формы. Затем температуру медленно снижают. *Вторая стадия графитизации* протекает или при медленном охлаждении в эвтектоидном интервале температур, или при длительной выдержке (в течение 25-30 ч) несколько ниже температуры эвтектоидного превращения (720-740 °С). В процессе этой выдержки распадается цементит перлита на феррит и графит. В результате такого отжига продолжительностью 70-80 ч формируется структура, состоящая из феррита и хлопьевидного графита. Если на второй стадии графитизации время выдержки сократить, можно получить ферритно-перлитный ковкий чугун.

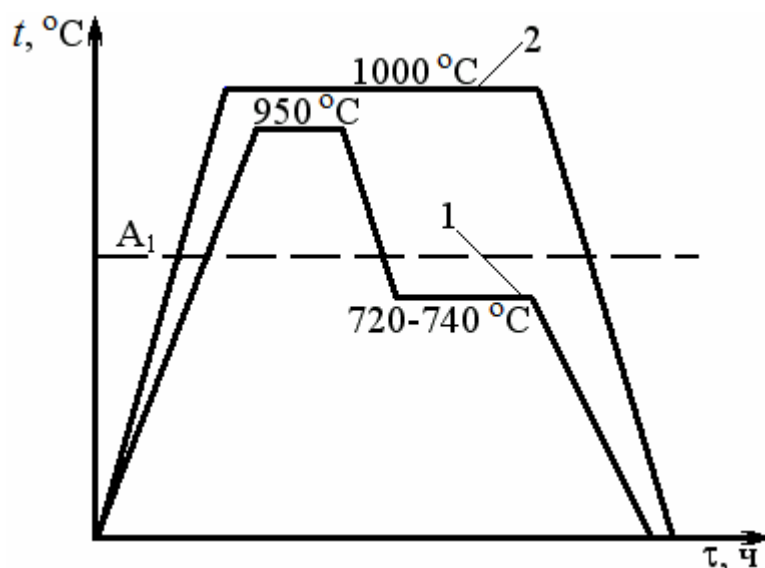


Рис. 32. Схемы отжига белого чугуна на ферритный (1) и перлитный (2) ковкие чугуны

Перлитный ковкий чугун получают отжигом, который проводят в окислительной среде по режиму 2 (см. рис. 32). В этом случае увеличивают продолжительность первой стадии графитизации, после которой проводят непрерывное охлаждение отливок. Графитизация цемента перлита практически не происходит; поэтому чугун приобретает структуру, состоящую из перлита и хлопьевидного графита.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ и числами, первое из которых обозначает уменьшенную в 10 раз величину предела прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, второе – относительное удлинение при растяжении δ (см. табл. 9). Например, КЧ 35-10 ГОСТ 1215-79.

Ковкие чугуны широко применяются в сельскохозяйственном, автомобильном и текстильном машиностроении, в судо-, котло-, вагоно- и дизелестроении. Из них изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить, зарисовать и объяснить микроструктуру белых чугунов. Описать процесс образования структуры белого чугуна с определенным составом, заданным преподавателем. Описать свойства и указать область применения белых чугунов.

2. Указать химический состав и описать процесс образования структуры серых чугунов. Изучить и зарисовать их структуру. Привести марки серых чугунов, назвать их механические свойства и область применения.

3. Объяснить способ получения и указать химический состав высокопрочных чугунов. Изучить и зарисовать их микроструктуру. Привести марки высокопрочных чугунов, назвать их свойства и область применения.

4. Описать способ получения ковких чугунов, начертить график отжига. Объяснить формирование структуры ковкого чугуна с определенной (по заданию преподавателя) металлической основой. Изучить, зарисовать и объяснить микроструктуру. Указать химический состав, свойства и область применения ковкого чугуна. Объяснить принцип их маркировки.

5. Исследовать под микроскопом микрошлифы чугунов, указать наименование сплавов, схематично зарисовать и описать их микроструктуру. Результаты представить в виде табл. 10, используя табл. VI приложения.

Таблица 10

Наименование и марка сплава	Механические свойства			Рисунок и описание структуры	Свойства и применение сплава
	σ_B , МПа	δ , %	НВ		

6. Оформить отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

Контрольные вопросы

1. Укажите основное отличие чугуновых сплавов от стальных.
2. Перечислите виды чугуновых сплавов, дайте их определение.
3. Объясните принцип маркировки чугуновых сплавов.
4. Напишите обозначение (марку) ковкого чугуна, имеющего предел прочности на растяжение 560 МПа и относительное удлинение при растяжении 4 %.
5. Опишите различия белого и серого чугунов по структуре и свойствам.

Лабораторная работа № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель работы: ознакомиться с теорией и практикой термической обработки и исследовать влияние режимов термической обработки на твёрдость и получаемую структуру углеродистой стали.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Электрические печи сопротивления для термообработки.
2. Прибор ТР 5006 для измерения твердости по методу Роквелла.
3. Бачки для закалки с маслом и водой.
4. Щипцы.
5. Образцы стали 45 и стали У10 диаметром 10-15 мм и высотой 10-15 мм.
6. Металлографический микроскоп.
7. Комплект микрошлифов углеродистой стали после термообработки.
8. Фотографии микроструктур углеродистых сталей после различных видов термообработки.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Термической обработкой стали называют процесс, состоящий из нагрева металла до соответствующей температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения с определённой скоростью. При термической обработке изменяется структура стали, что ведет к изменению её свойств.

В основе термообработки лежат фазовые превращения в твёрдом состоянии, происходящие при нагреве стали выше критических точек A_1 (линия PSK диаграммы состояния $Fe - Fe_3C$), A_3 (линия GS) или $A_{ст}$ (линия SE) и последующем охлаждении.

При нагреве стали выше $t. A_1$ происходит превращение перлита в аустенит. В процессе охлаждения аустенит при температурах ниже $t. A_1$ превращается либо в ферритно-цементитную смесь, либо в мартенсит.

Скорости превращения аустенита зависят от условий охлаждения и могут быть определены наложением кривой охлаждения на диаграмму изотермического распада аустенита (рис. 33).

Наименьшая скорость охлаждения, при которой происходит превращение аустенита в мартенсит, называется *критической скоростью* охлаждения $V_{кр}$.

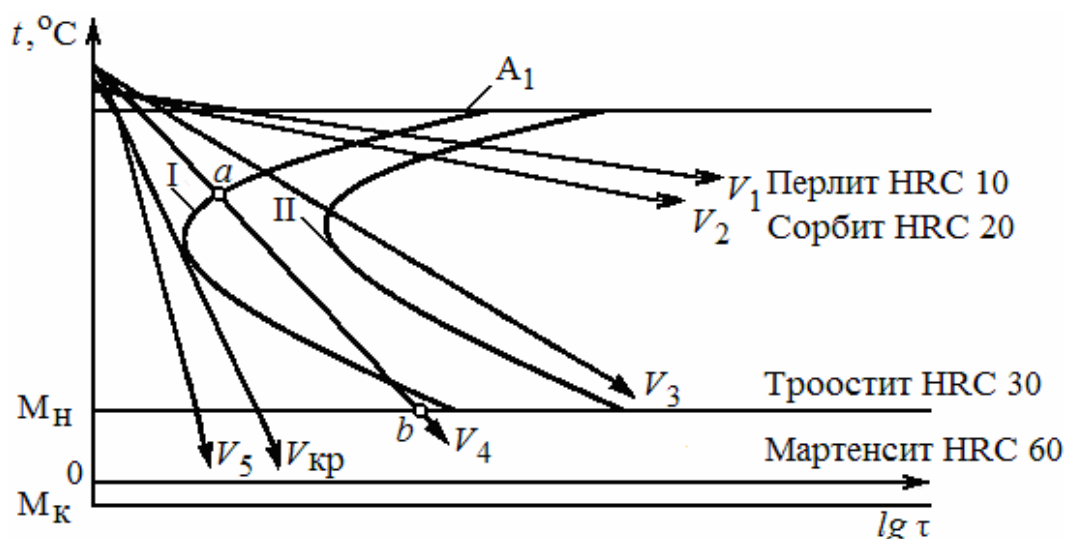
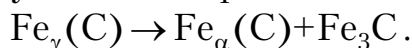


Рис. 33. Схема превращения аустенита при различных скоростях охлаждения:
 V_1 – охлаждение вместе с печью; V_2 – на воздухе; V_3 – в масле;
 V_5 – в воде; $V_{кр}$ – критическая скорость охлаждения;
 I – начало распада аустенита; II – конец распада аустенита

При охлаждении стали со скоростью ниже $V_{кр}$ аустенит распадается на ферритно-цементитную смесь по реакции

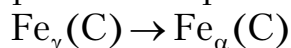


Распад аустенита состоит из двух одновременно протекающих процессов:

- 1) полиморфного превращения Fe_γ в Fe_α ;
- 2) выделения углерода из железа и образования Fe_3C .

Первое превращение требует смещения атомов в решётке на расстояния, меньшие межатомных, и происходит практически мгновенно. Для образования частичек цементита необходима диффузия углерода. Поэтому распад аустенита на ферритно-цементитную смесь является *диффузионным процессом*, в результате которого образуются следующие структуры: *перлит*, *сорбит* и *троостит*. Эти структуры отличаются друг от друга степенью дисперсности (троостит дисперснее сорбита, а последний – перлита). Чем больше скорость охлаждения, тем выше дисперсность ферритно-цементитной смеси и ее твердость.

При скорости охлаждения $V_{охл} \geq V_{кр}$ происходит *бездиффузионное превращение* аустенита в мартенсит по реакции



В этом случае совершается только полиморфное превращение Fe_γ в Fe_α без выделения углерода из твердого раствора. В решётке мартенсита остаётся то же количество атомов углерода, которое имелось в решётке аустенита. Таким образом, мартенсит представляет собой

пересыщенный твёрдый раствор углерода в α -железе. Из-за пересыщенности углеродом кристаллическая решетка α -железа сильно искажается (становится тетрагональной), благодаря чему мартенсит имеет высокую твердость (HRC 62-66).

Превращение аустенита в мартенсит протекает в интервале температур M_n и M_k . Температура начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения зависит от химического состава стали. При увеличении содержания углерода в углеродистых сталях температуры M_n и M_k понижаются (рис. 34), и в сталях, содержащих более 0,4 % С, температура M_k оказывается ниже комнатной; поэтому структура стали будет состоять из мартенсита и остаточного аустенита ($A_{ост}$). Причем количество остаточного аустенита тем больше, чем выше содержание углерода в стали. Например, при содержании углерода 1,2 % количество $A_{ост}$ может достигать 40-60 %.

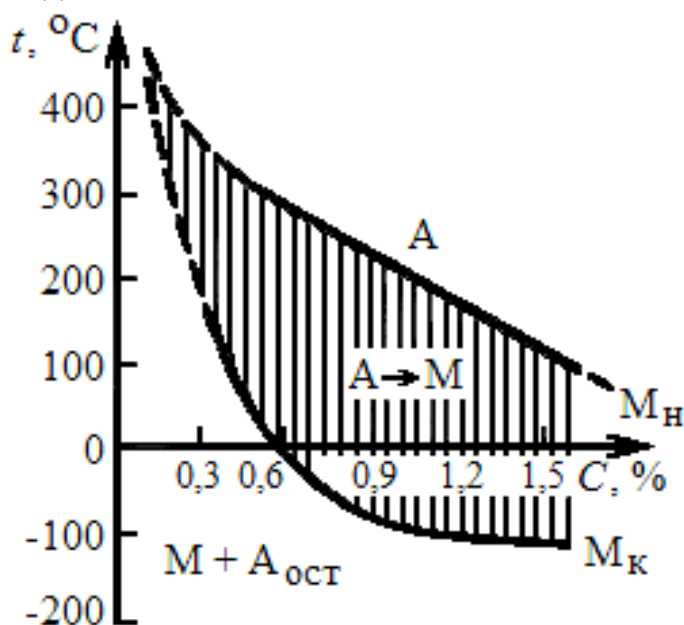


Рис. 34. Влияние содержания углерода на температуру начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения

При охлаждении в масле (кривая V_4 на рис. 33) только часть аустенита превращается в тонкодисперсную ферритно-цементитную смесь — *троостит*. Нераспавшаяся часть аустенита превращается в *мартенсит*.

Таким образом, в зависимости от скорости охлаждения стали образуются различные структуры с разными свойствами.

Существуют следующие виды термической обработки стали: отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжиг заключается в нагреве стали выше критических температур — точек A_1 (неполный отжиг) или A_3 (полный отжиг) — с последующим медленным охлаждением вместе с печью.

Цель отжига – снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений.

Структура доэвтектоидной стали после полного отжига, т.е. нагрева на 30-50 °С выше точки A_3 , состоит из феррита и перлита. Скорость охлаждения в этом случае соответствует лучу V_1 на диаграмме изотермического превращения аустенита (см. рис. 33). При таком способе охлаждения все фазовые превращения находятся в соответствии с диаграммой «железо – углерод».

В заэвтектоидной стали после неполного отжига, т.е. нагрева на 10-30 °С выше точки A_1 , образуется структура, состоящая из цементита и перлита. В результате такого нагрева цементит перлита и вторичный цементит приобретают форму округлых зерен вместо пластинок. Получаемая структура называется зернистый перлит.

Перегрев стали при отжиге приводит к значительному росту аустенитного зерна, а при последующем медленном охлаждении – к образованию видманштеттовой структуры. Для видманштеттовой структуры характерно выделение феррита в виде игл (пластин), расположенных внутри перлита по определенным кристаллографическим плоскостям (рис. 35). Сталь с такой структурой имеет низкие механические свойства (особенно вязкость).



Рис. 35. Доэвтектоидная сталь (видманштеттова структура)

Нормализация состоит в нагреве стали выше критических точек A_3 и $A_{ст}$ на 30-50 °С и последующем охлаждении на воздухе. Прочность и твердость после нормализации выше, чем после отжига.

Цель нормализации та же, что и при отжиге, но в некоторых случаях нормализация может быть окончательной термообработкой.

После нормализации углеродистые стали имеют ту же структуру, что и при отжиге, но ферритно-цементитные смеси получаются более мелкодисперсными, так как распад аустенита происходит при больших степенях переохлаждения.

Закалкой называется нагрев стали выше t_{A_1} (неполная закалка) или t_{A_3} (полная закалка) на 30-50 °С с последующим быстрым охлаждением.

Цель закалки – получение высокой твёрдости.

Для доэвтектоидных сталей применяют полную закалку. Структура правильно нагретой перед закалкой стали состоит из мелкоигльчатого мартенсита (рис. 36, *а*). Перегретая закаленная сталь дает более крупные иглы мартенсита с пониженной твердостью и повышенной хрупкостью (рис. 36, *б*).

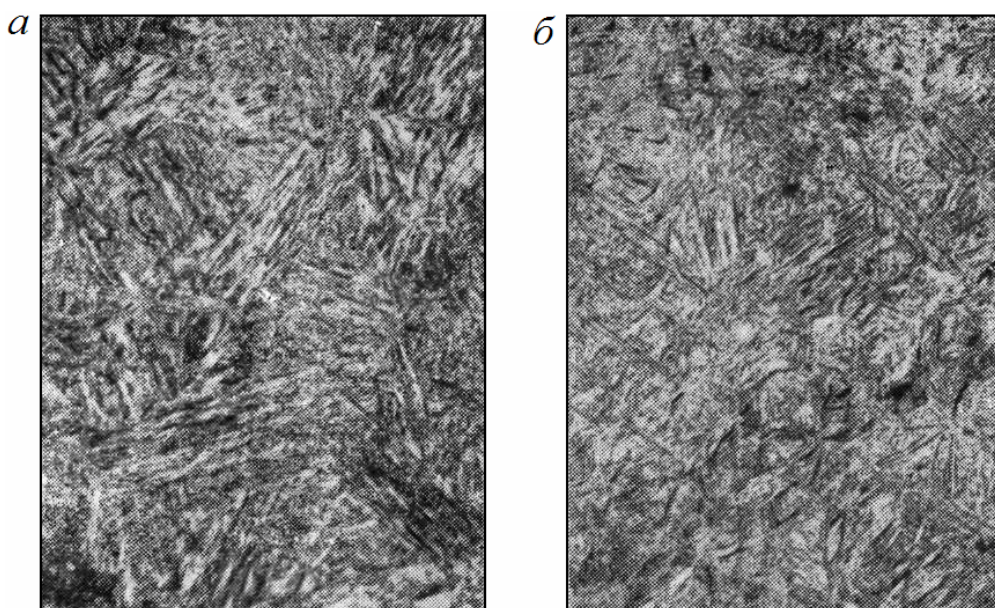


Рис. 36. Структура закаленной доэвтектоидной стали (0,5 % С):
а – закалка с 930 °С, перегрев (кристаллы мартенсита крупные);
б – закалка с 825 °С, без перегрева (кристаллы мартенсита более мелкие)

При неполной закалке наряду с мартенситом в структуре присутствует мягкий феррит, который выглядит на шлифе в виде светлых пятен на игльчатом фоне мартенсита (рис. 37). Такая неоднородная структура снижает твердость стали; поэтому неполная закалка для доэвтектоидных сталей не применяется.

Неполную закалку используют для заэвтектоидных сталей, так как нагрев под полную закалку приводит к образованию крупного зерна аустенита, а при последующем охлаждении – получению крупноигльчатого мартенсита с повышенной хрупкостью. При неполной закалке (нагрев выше t_{A_1}) заэвтектоидных сталей образуется структура, состоящая из мелкозернистого мартенсита, округлых зёрен вторичного цементита и остаточного аустенита (рис. 38). Эта структура обладает большей твёрдостью, прочностью, пластичностью и износоустойчивостью по сравнению с крупноигльчатым мартенситом.



Рис. 37. Структура закаленной доэвтектоидной стали (0,2 % С) (мартенсит и участки феррита)

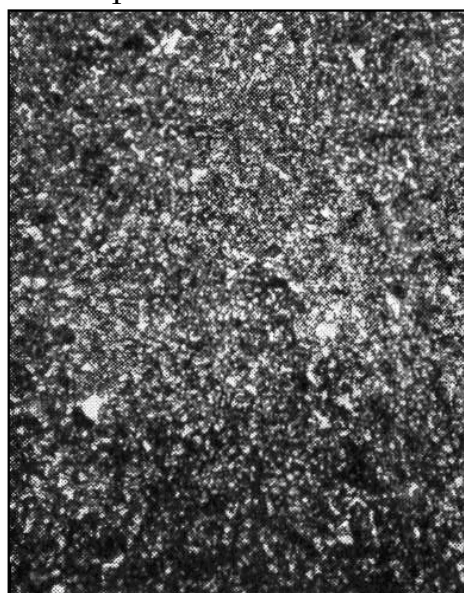


Рис. 38. Структура закаленной заэвтектоидной стали (1,2 % С) (мартенсит и вторичный цементит)

Время нагрева образца до заданной температуры и выдержки при температуре нагрева зависит от нагревающей среды, теплопроводности материала и габаритов детали.

В табл. 11 представлены нормы нагрева стали на один миллиметр диаметра для круга и на один миллиметр толщины для квадрата при термической обработке в лабораторных электрических печах.

Т а б л и ц а 11

Температура нагрева, °С	Время нагрева в минутах на 1 мм сечения		
	Круг	Квадрат	Пластина
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,6

Скорость охлаждения зависит от среды, в которой производится закалка. Охлаждающие среды можно разделить на следующие группы:

- резкие охладители – холодная вода, растворы солей, кислот, щелочей;
- средние охладители – растворы жидкого стекла, глицерин;
- умеренные охладители – различного рода масла, подогретая вода;
- слабые охладители – воздух, расплавленные металлы и т.д.

В результате нагрева углеродистой стали до нормальной температуры закалки и охлаждения не в воде, а в масле (луч V_4 на рис. 33), т.е. с меньшей скоростью, образуется смешанная структура мартенсита и троостита (рис. 39). Образование указанной структуры происходит следующим образом: сначала из аустенита образуется троостит (при температуре 500-550 °С точка a на рис. 33), выделяющийся по границам зерен, а затем из оставшегося аустенита образуется мартенсит (при температуре ниже точки b на рис. 33).

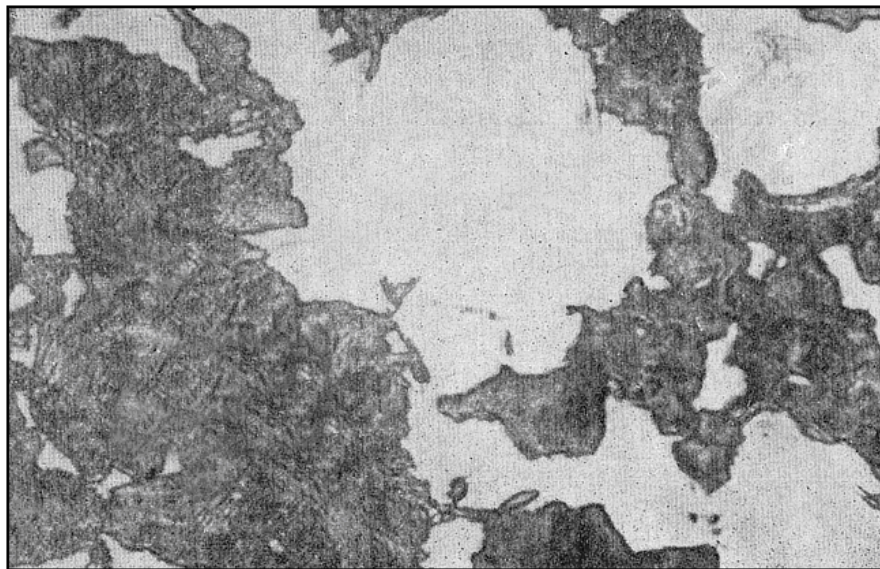


Рис. 39. Мартенсито-трооститная структура в закаленной стали

Отпуск заключается в нагреве закалённой стали до температуры ниже t_{A_1} , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении, как правило, на воздухе.

Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск проводится при температуре 150-200 °С. В результате снижаются внутренние напряжения, твёрдость практически не меняется, несколько увеличиваются пластичность и ударная вязкость. Низкому отпуску подвергают режущий и измерительный инструмент из высокоуглеродистых сталей, а также детали из цементуемых сталей. Структура после отпуска – *мартенсит отпуска*.

Низкий отпуск не вызывает заметных изменений в структуре, наблюдаемой в микроскопе. Микрошлифы после низкого отпуска обладают лишь более интенсивной травимостью и кристаллы мартенсита отпущенной стали кажутся более темными, чем в закаленной стали, не подвергавшейся отпуску (рис. 40, *a*). При низком отпуске происходит уменьшение тетрагональности решетки мартенсита и выделение мельчайших частиц карбидов.

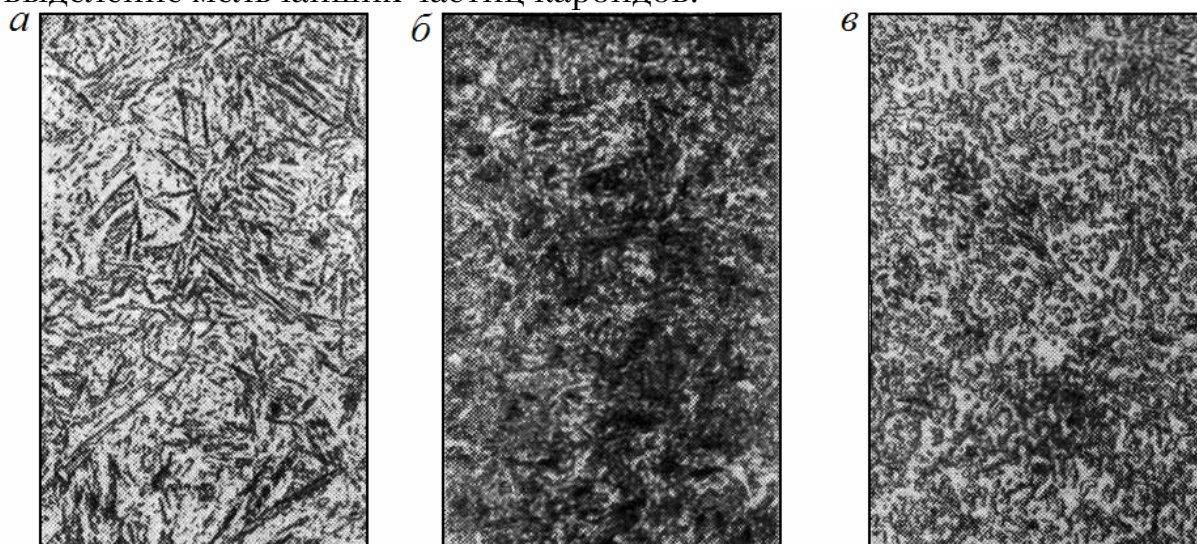


Рис. 40. Структура отпущенной стали (0,6 % С):
a – мартенсит отпуска; *б* – троостит; *в* – сорбит

При *среднем отпуске* нагрев производится до 350-450 °С. Образующаяся после отпуска структура – *троостит отпуска*. Полностью снимаются внутренние напряжения. Троостит обладает высокой прочностью, упругостью, пластичностью и ударной вязкостью. Применяется средний отпуск для пружин, рессор, ударного инструмента.

Троостит отпуска является продуктом распада мартенсита. Он представляет собой высокодисперсную смесь частиц феррита и коротких пластинок цементита. Из-за значительной дисперсности образовавшихся частиц феррита и цементита троостит отпуска плохо выявляется при микроанализе и наблюдается в виде темной игольчатой структуры (рис. 40, *б*).

Высокий отпуск проводится при 550-650 °С и применяется для деталей, работающих в сложнапряжённом состоянии или при динамических нагрузках (шестерни, валы, шпиндели и т.д.). Структура после отпуска – *сорбит отпуска*. Материал приобретает комплекс высоких механических свойств – высокую прочность, пластичность и ударную вязкость.

Сорбит отпуска, как и троостит отпуска, является продуктом распада мартенсита. Он представляет собой механическую смесь феррита

и округлых зерен цементита, но более грубого строения, чем троостит. Поэтому сорбит отпуска выявляется при микроанализе более отчетливо (рис. 40, в).

Термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, называют *улучшением* стали.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить превращения в сталях, происходящие при распаде аустенита. Ознакомиться с видами термообработки стали.

2. Определить оптимальную температуру закалки для каждой стали, руководствуясь положениями термической обработки.

3. Определить время нагрева и выдержки, используя табл. 11.

4. Для изучения влияния скорости охлаждения на твёрдость стали шесть образцов из стали 45 поместить в печь с температурой 850 °С и три образца из стали У10 – в печь с температурой 770 °С; выдержать в печах заданное время и охладить в различных средах:

а) образцы из стали 45 – в воде – 4 шт.
в масле – 1 шт.
на воздухе – 1 шт.

б) образцы из стали У10 – в воде – 1 шт.
в масле – 1 шт.
на воздухе – 1 шт.

Принять скорость охлаждения: в воде – 600 град/с;
в масле – 150 град/с;
на воздухе – 30 град/с.

5. Охлаждённые образцы зачистить наждачной бумагой от окалины и измерить их твердость на приборе Роквелла.

6. Для изучения влияния режима отпуска на твёрдость стали три закаленных в воде образца из стали 45 подвергнуть отпуску при продолжительности выдержки 15 мин по следующим режимам:

- один образец выдержать в печи с температурой 150 °С;
- второй образец – в печи с температурой 400 °С;
- третий образец – в печи с температурой 600 °С.

7. После охлаждения на воздухе измерить твёрдость отпущенных образцов.

8. Полученные данные занести в табл. 12.

9. Построить графики зависимости твёрдости образцов от скорости охлаждения и от температуры отпуска.

10. Исследовать под микроскопом микрошлифы термически обработанных углеродистых сталей. Проанализировать изменение состава

структурных составляющих в зависимости от содержания углерода и температуры нагрева.

Таблица 12

№ образцов	Марка стали	Температура нагрева, °С	Выдержка в печи, мин	Охлаждающая среда	Температура отпуска, °С	Твердость			Микроструктура
						HRC	HRB	HB	
1	45	850		Вода					
2	45	850		Масло					
3	45	850		Воздух					
4	45	850		Вода	150				
5	45	850		Вода	400				
6	45	850		Вода	600				
7	У10	770		Вода					
8	У10	770		Масло					
9	У10	770		Воздух					

11. Составить отчёт, в котором привести экспериментальные данные, сведённые в табл. 12, представить построенные графики зависимости:

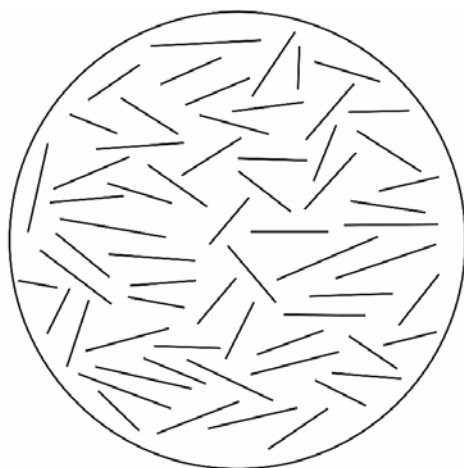


Рис. 41. Схема зарисовки микроструктуры стали 45 (Перегрев при закалке – крупноугольчатый мартенсит)

- твёрдости стали от скорости охлаждения (сталь 45 и сталь У10);
- твёрдости закалённой стали 45 от температуры отпуска.

Схематично зарисовать изучаемые микроструктуры, под каждым рисунком структуры должны быть указаны: наименование стали, режима обработки и структуры (пример схемы зарисовки микроструктуры показан на рис. 41).

Контрольные вопросы

1. Перечислите структуры, образующиеся в результате непрерывного охлаждения аустенита. В чем их различие?
2. Каким образом производится отжиг? Укажите его цель. Установите температуру отжига стали, содержащей 0,3 % С.
3. Назовите виды отпуска. В каком случае их применяют?
4. Что такое нормализация?
5. С какой целью проводят закалку? Какая структура образуется в результате проведения полной и неполной закалки?
6. Определите температуру нагрева под закалку стали, содержащей 0,45 и 1,2 % С.

Лабораторная работа № 9 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: изучить структуру и свойства наиболее распространенных в машиностроении конструкционных, инструментальных сталей и сталей с особыми свойствами.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Комплект микрошлифов исследуемых сталей.
3. Набор фотографий микроструктур.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЖЕЛЕЗОМ И УГЛЕРОДОМ

Легированными называются стали, в которые для получения требуемых свойств вводят легирующие элементы (ЛЭ). Влияние ЛЭ на свойства сталей зависит от характера их взаимодействия с железом и углеродом.

При взаимодействии с железом ЛЭ образуют:

- 1) химические соединения (FeCr , FeCo , FeSi) и
- 2) твердые растворы:
 - замещения с неограниченной растворимостью компонентов друг в друге ($\text{Fe}_\gamma\text{-Ni}$, $\text{Fe}_\alpha\text{-Cr}$);
 - замещения с ограниченной растворимостью компонентов друг в друге (W , Mo , Ti , Si);
 - внедрения (N , B , C).

Растворяясь в железе, ЛЭ (рис. 42) оказывают различное влияние на температуру аллотропического превращения железа (на положение точек A_3 и A_4). По влиянию на температуру аллотропического превращения железа ЛЭ делятся на две группы:

1) *аустенитообразующие* (Ni , Mn , Co , Cu); они повышают точку A_4 и понижают точку A_3 , то есть расширяют γ -область (рис. 42, а). Сплавы, содержащие ЛЭ в количестве, большем, чем в соответствующей точке n , не испытывают $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ -превращений и называются аустенитными. Например сталь 12Х18Н10Т;

2) *ферритообразующие* (Cr , Ti , Mo , W); они понижают точку A_4 и повышают точку A_3 , то есть расширяют α -область (рис. 42, б). Сплавы, содержащие легирующего элемента в количестве, большем, чем в точке

m , не испытывают $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ -превращения и называются ферритными. Например сталь 10X17.

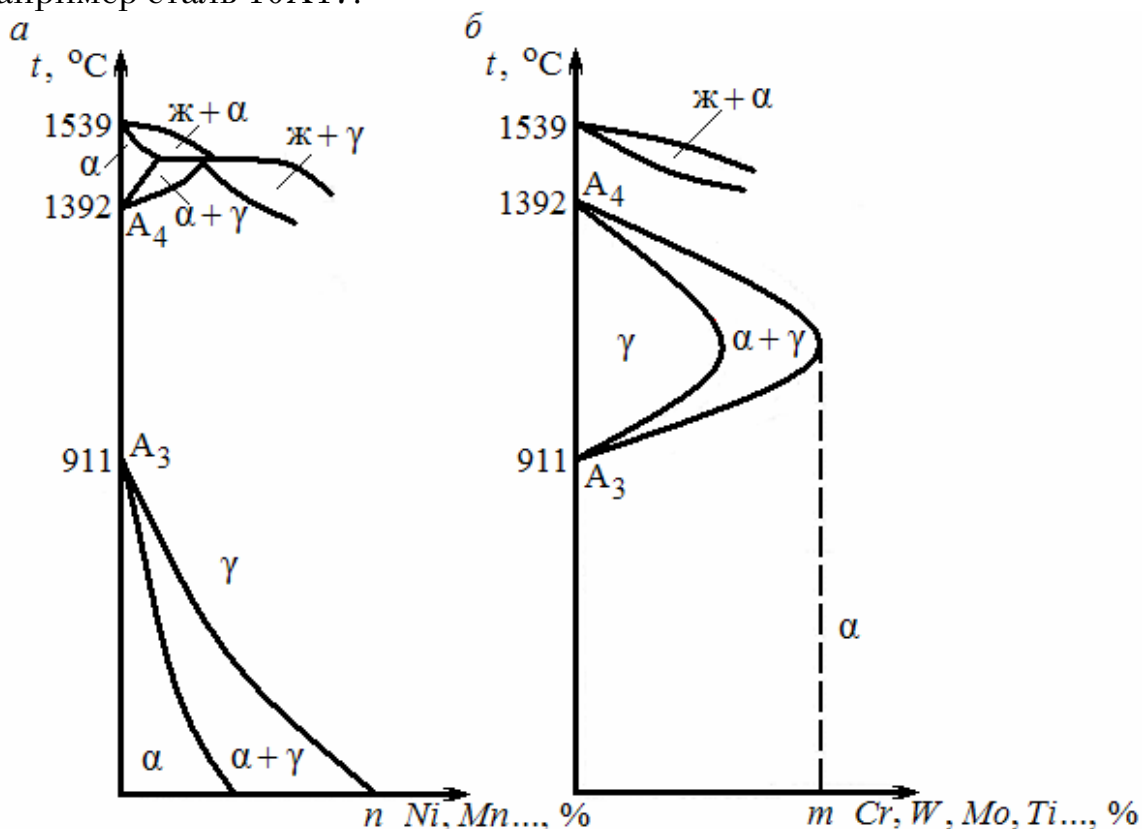


Рис. 42. Диаграмма состояния сплавов железо – легирующий элемент:
 а – ЛЭ, расширяющие γ -область; б – расширяющие α -область

По характеру взаимодействия с углеродом ЛЭ делятся на:

- *некарбидообразующие* – Si, Al, Cu (находятся в твердом растворе) и
- *карбидообразующие* – Mn, Cr, Mo, W, Nb, Ti, V, Zr.

Образующиеся в легированных сталях карбиды делятся на две группы:

1) карбиды со сложными кристаллическими решетками типа M_3C , M_7C , $M_{23}C_6$, M_6C (где M – карбидообразующий элемент), легко растворяющиеся в аустените при нагреве стали;

2) карбиды с простой кристаллической решеткой типа MC и M_2C , почти не растворяющиеся в аустените.

Карбиды обладают высокой твердостью. Их присутствие в стали повышает ее прочность и твердость.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ

Все ЛЭ, за исключением Mn и V, при нагреве уменьшают склонность аустенитного зерна к росту; поэтому легированные стали являются наследственно мелкозернистыми.

Все ЛЭ, за исключением Ni и Mn, повышают температуру нагрева и время выдержки стали при термической обработке.

Все ЛЭ, за исключением Co, уменьшают критическую скорость закалки (сдвигают диаграмму изотермического распада аустенита вправо), следовательно, увеличивают прокаливаемость стали (рис. 43, *a*). Это позволяет применять менее интенсивный охладитель при закалке, что приводит к уменьшению внутренних напряжений в стали.

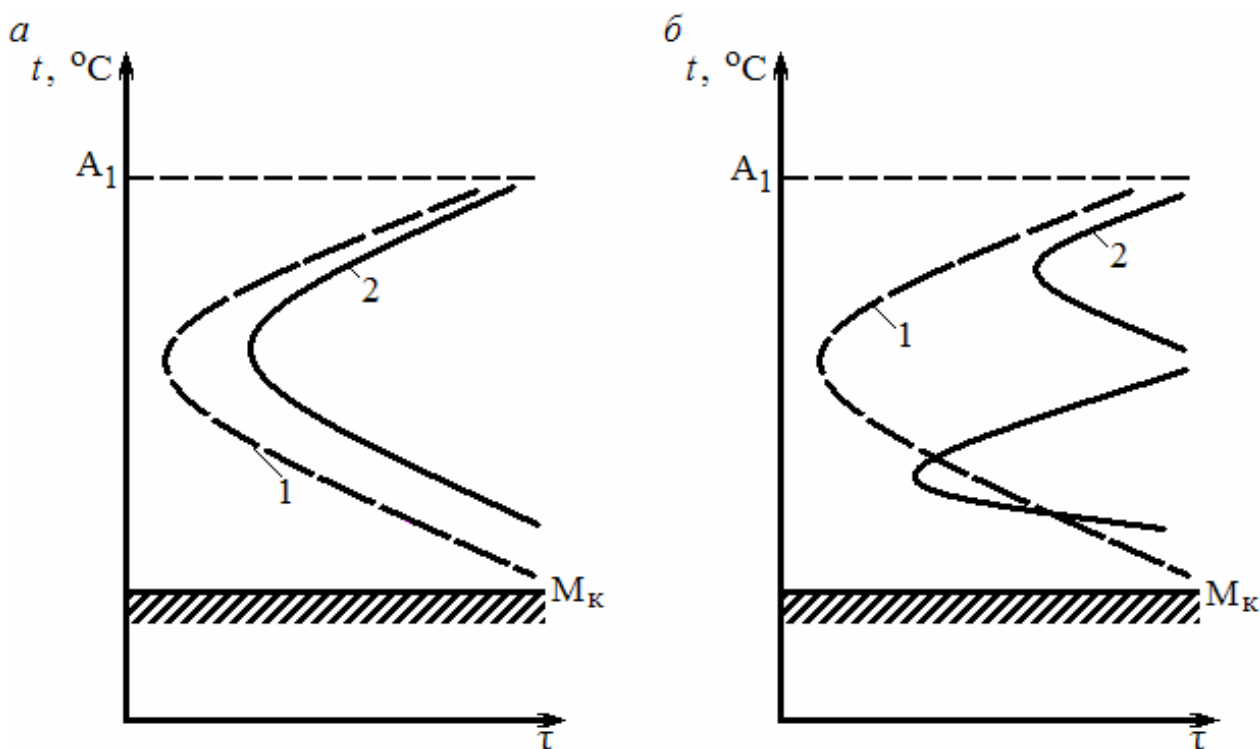


Рис. 43. Диаграмма начала изотермического распада аустенита: *a* – углеродистая (1) и легированная некарбидообразующими элементами (2) стали; *b* – углеродистая (1) и легированная карбидообразующими элементами (2) стали

Карбидообразующие элементы (Cr, W, Mo, V и др.) не только замедляют распад аустенита, но и видоизменяют диаграмму изотермического распада аустенита (рис. 43, *b*). При введении в сталь ЛЭ на диаграмме появляются две зоны минимальной устойчивости переохлажденного аустенита.

Большинство ЛЭ, за исключением Al, Co и Si, понижают температуру начала мартенситного превращения M_n и увеличивают количество остаточного аустенита.

ЛЭ замедляют процесс распада мартенсита. Поэтому для получения одного и того же значения твердости легированную (хромом, молибденом, кремнием и др. элементами) сталь необходимо нагревать при отпуске до более высокой температуры или увеличивать продолжительность отпуска по сравнению с углеродистой сталью.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Легированные стали классифицируют по химическому составу, по структуре в равновесном состоянии и после нормализации, а также по назначению.

По химическому составу легированные стали делятся в зависимости от вводимых элементов на *хромистые, марганцовистые, хромо-никелевые, хромоникельмолибденовые* и т.д.

По структуре в равновесном состоянии стали классифицируются на: *доэвтектоидные* – структура: легированный феррит и перлит;

эвтектоидные – структура: перлит;

заэвтектоидные – структура: перлит и вторичные карбиды;

ледебуритные – структура: перлит, вторичные карбиды и ледебурит; ледебурит (эвтектика) образуется первичными карбидами, выделяющимися при кристаллизации, и аустенитом.

Все ЛЭ смещают точки S и E в сплавах Fe – C влево, то есть в сторону меньших концентраций углерода. Поэтому в легированных сталях перечисленные выше классы образуются при меньшем содержании углерода, чем в углеродистых сталях. Например, содержащая 0,4 % C сталь будет доэвтектоидной, при содержании 0,4 % C и 6 % W – заэвтектоидной. При содержании 0,4 % C и 13 % W – ледебуритной.

Кроме того, легированные стали могут быть *ферритного* и *аустенитного* классов (с большим количеством феррито- и аустенитообразующих элементов). Таким образом, основываясь на фазовом равновесии, легированные стали подразделяют на *перлитный, ферритный, аустенитный* и *ледебуритный* классы.

По структуре после нормализации легированные стали делятся на три класса (рис. 44):

1) *перлитный* (содержание ЛЭ не более 5 %), например сталь 30ХГСА; при нормализации аустенит превращается в перлит, и конечной структурой стали может быть перлит, сорбит или троостит;

2) *мартенситный* (содержание ЛЭ от 5 до 13 %), например сталь 20Х13; при охлаждении на воздухе аустенит переохлаждается до начала мартенситного превращения M_n и превращается в мартенсит; конечная структура стали – мартенсит и остаточный аустенит;

3) *аустенитный* (содержание ЛЭ более 13 %), например сталь 12Х18Н10Т; при охлаждении на воздухе сохраняется структура аустенита.

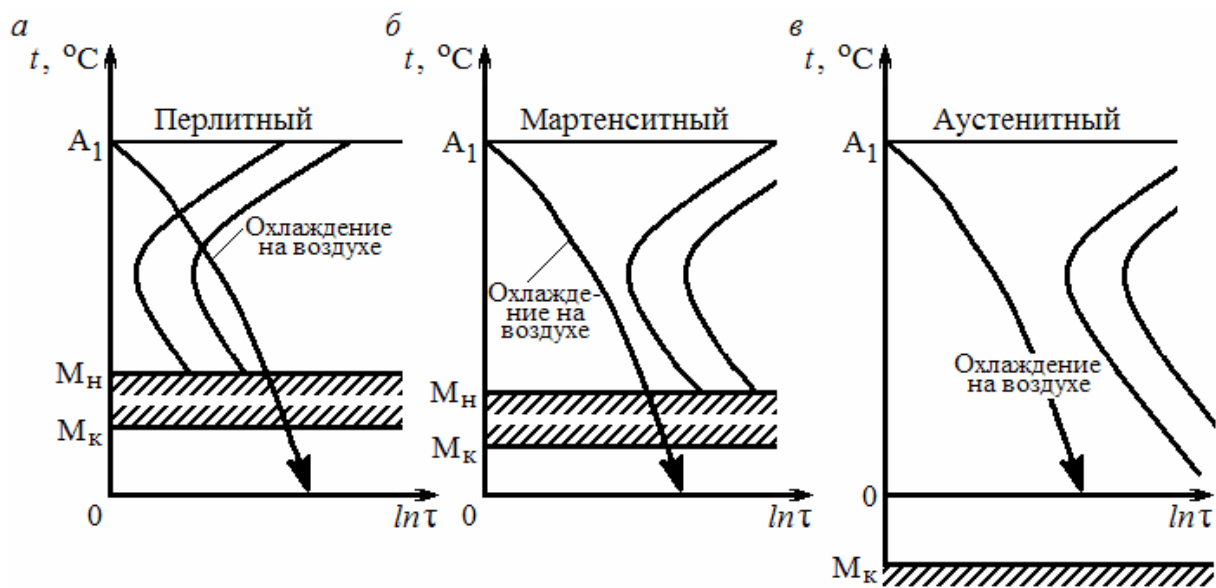


Рис. 44. Диаграммы изотермического распада аустенита сталей:
a – перлитного; *б* – мартенситного; *в* – аустенитного классов

По назначению стали делятся на конструкционные, инструментальные стали и стали с особыми свойствами.

Конструкционные стали, применяемые для изготовления деталей машин и конструкций, в равновесном состоянии имеют структуру «феррит и перлит». В зависимости от термической обработки они подразделяются на:

- **цементуемые**, содержащие до 0,3 % С (15ХГМ, 20Х, 20ХНЗА и т.д.); стали подвергаются цементации, после чего следует термическая обработка: закалка и низкий отпуск, это обеспечивает получение в поверхностном слое структуры мартенсита и высокую поверхностную твердость;

- **улучшаемые**, содержащие 0,3-0,5 % С (30ХГСА, 30ХГТ, 40Х); термическая обработка: закалка и высокий отпуск; получаемая структура зернистого сорбита обеспечивает сочетание высокой прочности, пластичности и вязкости;

- **среднеотпущенные**, содержащие 0,5-0,8 % С (50ХГФА, 55С2, 60С2А); это стали, предназначенные для изготовления пружин и рессор; основное требование к ним – высокий предел упругости; термическая обработка состоит из закалки и среднего отпуска; получаемая структура – троостит.

Инструментальные стали по назначению классифицируют на стали для режущего, штампового и измерительных инструментов.

Стали для режущего инструмента должны обладать высокой износоустойчивостью и теплостойкостью. По теплостойкости стали подразделяются на:

- низколегированные (7ХЗ, 9ХС, Х) с теплостойкостью до 300 °С;
- высоколегированные быстрорежущие (Р18, Р6М5, Р10К5Ф5) с теплостойкостью до 640 °С.

Низколегированные инструментальные стали в отожженном состоянии имеют структуру зернистого перлита. Их окончательная термообработка состоит в закалке и последующем низком отпуске. В результате образуется структура «мартенсит с включениями цементита».

Быстрорежущие стали применяются для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания. В равновесном состоянии быстрорежущие стали относятся к ледебуритному классу. Структура этих сталей после литья состоит из перлита, ледебурита и вторичных карбидов. Окончательная термообработка сталей заключается в закалке с температуры 1210-1290 °С и отпуске при температуре 560 °С. Нагрев под закалку проводят после предварительного подогрева до температуры 780 °С, что необходимо в связи с низкой теплопроводностью быстрорежущих сталей. После закалки в структуре остается до 30 % остаточного аустенита; поэтому быстрорежущие стали подвергают двух- или трехкратному отпуску (рис. 45). После отпуска структура состоит из мартенсита, карбидов и остаточного аустенита (до 3 %).

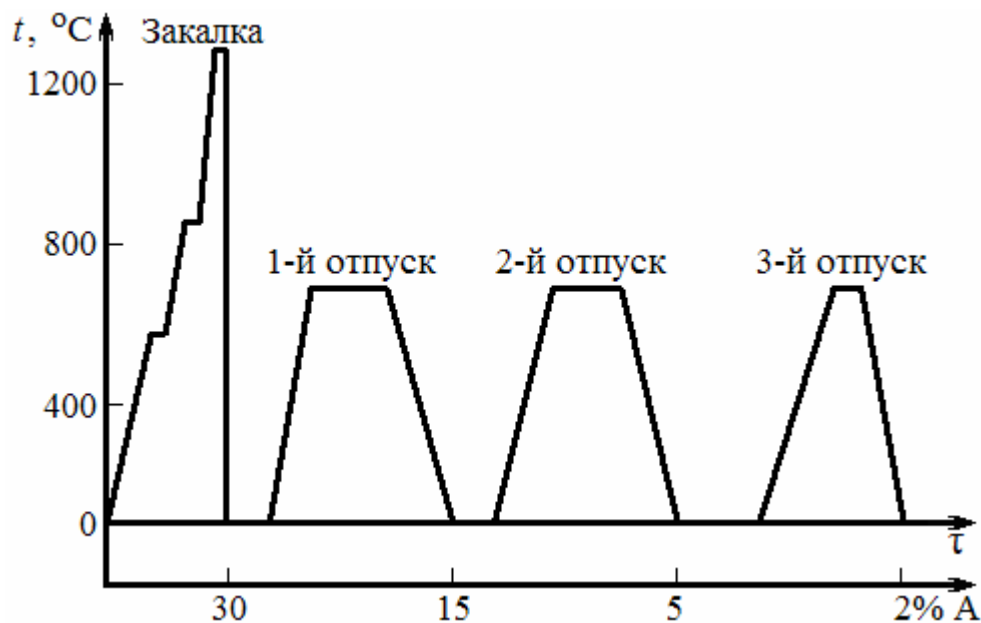


Рис. 45. Схема режима термической обработки инструментов из быстрорежущих сталей

Стали для штампового инструмента в зависимости от условий эксплуатации подразделяются на стали для холодного и горячего деформирования.

Штамповые стали для холодного деформирования (X, 11XB, X6BФ) должны обладать высокой твердостью, износоустойчивостью и ударной вязкостью. Термическая обработка этих сталей состоит из закалки и низкого отпуска. В результате образуется структура, состоящая из мартенсита, вторичных карбидов и остаточного аустенита.

Штамповые стали для горячего деформирования (5XHM, 4XCMФ, 5XHB) должны обладать высокой жаропрочностью, разгаростойкостью, ударной вязкостью и прокаливаемостью. Их структура после отжига – пластинчатый перлит и феррит. Термообработка состоит из закалки и среднего отпуска с целью образования структуры троостита.

Стали для измерительного инструмента (XBГ, X, XBТ) должны обладать высокой твердостью, износоустойчивостью и сохранять свои размеры длительное время. Термическая обработка этих сталей состоит из закалки и низкого отпуска. Структура стали после термообработки – мартенсит, вторичные карбиды и остаточный аустенит.

Стали с особыми свойствами имеют специфические физико-химические свойства. К ним относятся коррозионно-стойкие, жаро-стойкие, жаропрочные и другие стали.

В зависимости от структуры, полученной при охлаждении сталей на воздухе после высокотемпературного нагрева, стали подразделяются на следующие классы: перлитный, мартенситный, аустенитный, ферритный, аустенито-мартенситный, мартенсито-ферритный и астенито-ферритный.

Стали перлитного класса (12XM, 15XM, 12X1MФ) являются жаропрочными при температуре 400-550 °С. После нормализации сталей при 950-1050 °С образуется структура легированного феррита с распределенными в нем частицами карбидов.

Стали мартенситного класса являются жаропрочными (15X11MФ, 40X9C2) при температуре 500-600 °С и коррозионно-стойкими (20X13, 30X13). После закалки в масле (или охлаждении на воздухе) структура стали – мартенсит.

Стали аустенитного класса являются жаропрочными (45X14H14B2M, 40X15H7Г7Ф2MC) при температуре 600-750 °С и коррозионно-стойкими (12X18H9, 10X14Г14H3). Термическая обработка заключается в закалке с охлаждением в воде или на воздухе и отпуске (старении) при 750 °С. В результате образуется структура аустенита с карбидами хрома, располагающимися по границам зерен.

Стали ферритного класса являются коррозионно-стойкими (12X17, 08X17Т, 15X28). Они не претерпевают $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения при нагреве или охлаждении и имеют структуру феррита с небольшим количеством карбидов хрома.

Стали аустенитно-мартенситного класса являются коррозионно-стойкими (09X15Н8Ю, 14X17Н2) и имеют прочность более высокую, чем стали аустенитного класса. Термическая обработка заключается в закалке (образуется аустенит с некоторым количеством мартенсита), обработке холодом при $-70\text{ }^\circ\text{C}$ (часть аустенита превращается в мартенсит, что вызывает упрочнение) и отпуске (старении) при $380\text{ }^\circ\text{C}$. Структура после термообработки – мартенсит и аустенит.

Стали мартенситно-ферритного класса являются коррозионно-стойкими (12X13) и жаропрочными (15X12ВНМФ). После закалки в масле или на воздухе стали имеют структуру мартенсита и феррита.

Стали аустенитно-ферритного класса являются коррозионно-стойкими (12X21Н5Т, 08X22Н6Т, 08X20Н14С2) и обладают более высокой прочностью, по сравнению с коррозионно-стойкими сталями аустенитного класса. После закалки на воздухе стали имеют двухфазную аустенитно-ферритную структуру.

В табл. VII приложения приведены режимы термической обработки, структура и свойства после термообработки, а также назначение некоторых легированных сталей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить классификацию легированных сталей и влияние легирующих элементов на превращения, происходящие в сталях.

2. Исследовать под микроскопом шлифы легированных сталей и схематично зарисовать наблюдаемую структуру.

3. Составить табл. 13, в которой указать класс и структуру нескольких легированных сталей (по заданию преподавателя) в равновесном и нормализованном состоянии, типичную термическую обработку, структуру и свойства после термообработки и назначение стали.

Т а б л и ц а 13

Марка стали	Класс и структура в равновесном состоянии	Класс и структура в нормализованном состоянии	Типичная термическая обработка стали	Структура и свойства стали после термообработки	Назначение стали

4. Оформить отчет по лабораторной работе, в котором дать классификацию легированных сталей по различным признакам; кратко описать влияние легирующих элементов на превращения в стали; заполнить табл. 13.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию легированных сталей по назначению.
2. Какие легирующие элементы называют аустенитообразующими?
3. Какие стали называют улучшаемыми? Приведите в пример марки сталей, укажите их термообработку.
4. Какой термической обработке подвергаются быстрорежущие стали.
5. Назовите марки сталей для штампов холодного и горячего деформирования и опишите их термическую обработку.

Лабораторная работа № 10 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

Цель работы: изучить состав и строение пластмасс, их свойства и область применения; приобрести практические навыки определения их твердости, прочности и ударной вязкости.

Лабораторное оборудование и материалы:

1. Прибор для определения твердости материалов по методу Роквелла.
2. Разрывная машина.
3. Маятниковый копер.
4. Образцы различных пластмасс для механических испытаний на растяжение, твердость и ударную вязкость.
5. Макрошлифы термореактивных наполненных пластмасс (пресс-порошки, стеклотекстолит, стекловолокнит).
6. Лупа или бинокулярный микроскоп.

СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Пластическими массами (пластмассами) называют искусственные материалы на основе полимеров, способные при нагреве размягчаться и под давлением принимать определенную устойчивую форму.

Основными достоинствами пластмасс являются:

- малая плотность, не превышающая 1500 кг/м^3 , что в 5-8 раз ниже, чем у стали;
- высокое отношение прочности к плотности, то есть значительная удельная прочность;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошие электро-, тепло- и звукоизоляционные свойства;
- хорошая технологичность (легко перерабатываются в изделия) и т.д.

Недостатками пластмасс являются низкая ударная вязкость и склонность к старению.

Полимер, являясь основой любой пластмассы (связующим), связывает компоненты пластмассы в монолитное целое и придает ей главные свойства.

Полимерами называют высокомолекулярные вещества, молекулы которых (макромолекулы) состоят из многочисленных повторяющихся элементарных звеньев (мономеров), соединенных между собой

химическими (ковалентными) связями. В зависимости от происхождения полимеры делятся на природные и синтетические.

Природные полимеры – это белки и нуклеиновые кислоты, природные смолы, каучук, асбест, слюда и т.д.

Синтетические полимеры – это полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, эпоксидные смолы и т.д.

По **форме макромолекул** полимеры делят на *линейные, разветвленные и пространственные, или сетчатые* (рис. 46). Линейные полимеры (полиэтилен, полиамиды) отличаются эластичностью, большой плотностью упаковки макромолекул.

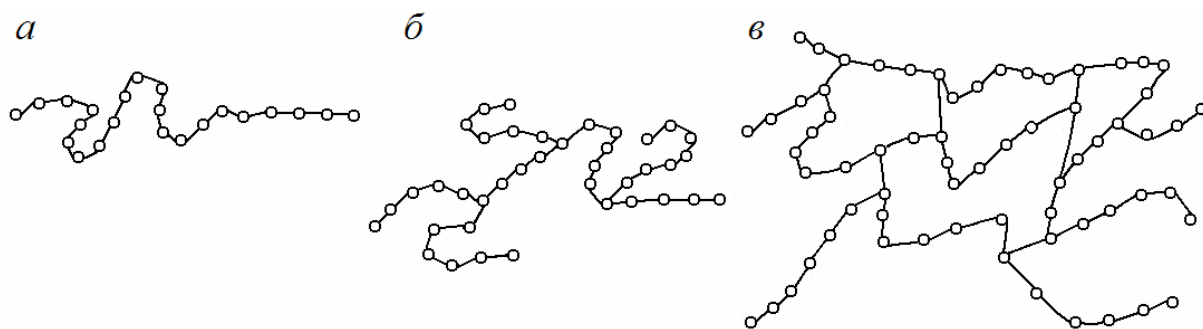


Рис. 46. Форма строения макромолекул полимеров:
а – линейная; б – разветвленная; в – сетчатая

Разветвленные полимеры (полиизобутилен) обладают меньшей плотностью, поэтому они менее прочные, более легко плавятся.

Сетчатая форма макромолекул свойственна более прочным, нерастворимым и неплавким полимерам, которые склонны к набуханию в растворителях и размягчению при нагревании. Разновидностью сетчатого полимера является, например, графит.

По **фазовому состоянию** полимеры подразделяются на *аморфные и кристаллические*. Реальные полимеры обычно содержат аморфную и кристаллическую фазы. Отношение объема, занимаемого кристаллической фазой, к общему объему полимера называется *степенью кристалличности*. Кристаллическую структуру имеют полимеры с макромолекулами линейной или редкосетчатой формы. Кристаллическим полимерам свойственны более высокие теплостойкость и прочность.

По **полярности** различают *неполярные* (например полиэтилен, полипропилен, фторопласт-4) и *полярные* (например поливинилхлорид). неполярные полимеры обладают более высокими морозостойкостью и диэлектрическими свойствами.

В зависимости от **поведения при нагреве** различают термопластичные (термопласты) и терморезистивные (реактопласты) полимеры. Соответственно называют и пластмассы на основе этих связующих веществ.

Термопластичными называют полимеры или пластмассы, которые с повышением температуры размягчаются, плавятся, при формовании не претерпевают химических изменений, по мере охлаждения затвердевают и сохраняют способность пластически деформироваться при повторном нагреве. Такие полимеры (полиэтилен, полистирол, капрон и т.д.) имеют линейную или разветвленную структуру молекул.

Терморезистивные полимеры или пластмассы при нагреве и формовании претерпевают существенные химические изменения, затвердевают и, теряя способность пластически деформироваться, остаются твердыми. Линейная структура таких полимеров при нагреве преобразуется в пространственную.

Физико-механические свойства полимеров зависят от их структуры, температуры и физического состояния. Полимеры могут находиться в одном из трех физических состояний: стеклообразном, высокоэластичном и вязкотекучем.

Полимеры в *стеклообразном* состоянии имеют пространственную структуру макромолекул, отличаются твердостью и аморфностью. Атомы находятся в равновесном положении, макромолекулы не перемещаются.

Высокоэластичное состояние макромолекул выражается в способности полимеров к большим обратимым изменениям формы при небольших нагрузках. Атомы колеблются, макромолекулы способны изгибаться.

Полимеры в *вязкотекучем* состоянии (линейные или разветвленные) отличаются от жидких веществ большей вязкостью. Подвижной является вся молекула. На рис. 47 приведены зависимости степени деформации полимеров с различной структурой от температуры их нагрева, по которым можно судить о характере изменения механических и технологических свойств полимеров при различных температурах.

Так, полимеры или пластмассы на их основе эксплуатируются при температурах ниже температуры стеклования t_c , когда они находятся в твердом состоянии. Изготовление изделий из пластмасс ведут в области их вязкотекучего состояния. Температура хрупкости t_{xp} соответствует переходу полимеров в твердое состояние. В кристаллизующихся полимерах при температуре t_k их кристаллическая часть плавится, и далее, от t_k до t_r , полимер находится в высокоэластичном состоянии. Свыше температур текучести t_r аморфные и кристаллизующиеся полимеры переходят в вязкотекучее состояние. Для редкосетчатых полимеров температура t_x является началом химического разложения полимера.

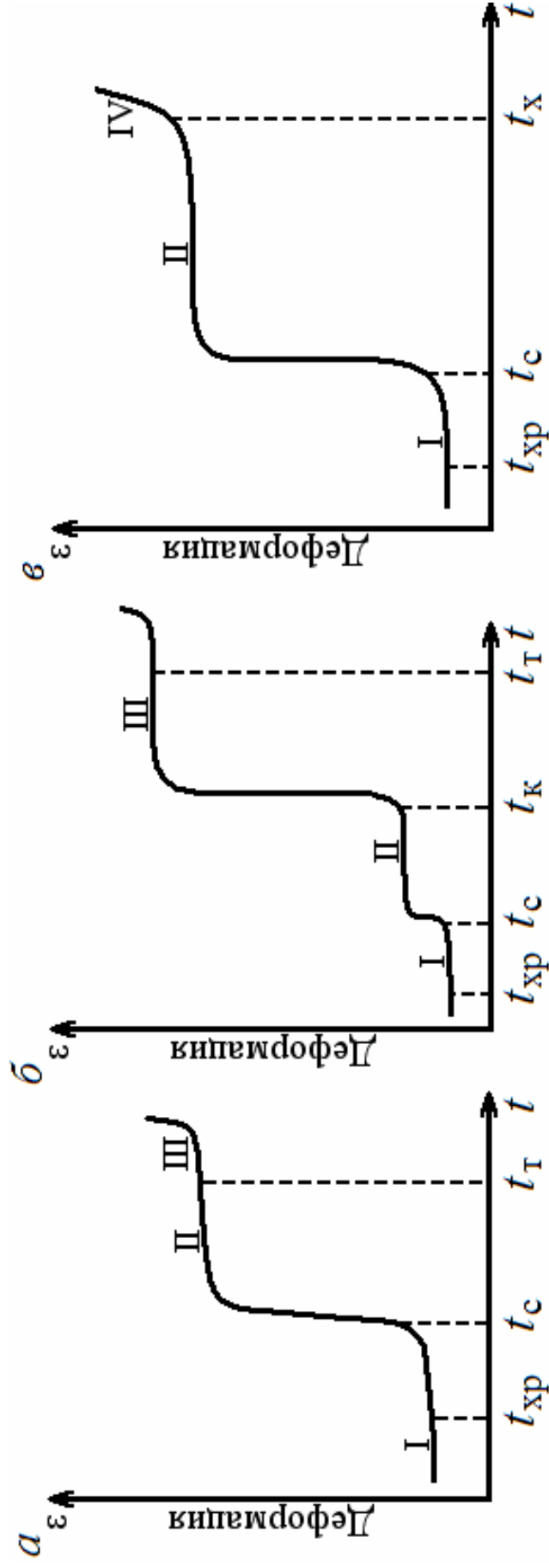


Рис. 47. Термомеханические кривые различных состояний аморфного (а); кристаллического (б); редкосетчатого (в) полимеров:
 I – стеклообразного; II – высокоэластичного; III – вязкотекучего; IV – химического разложения

Простые пластмассы состоят из одних полимеров (например полиэтилен, фторопласт). В состав сложных пластмасс кроме полимеров входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы и т.д. (например стекло-текстолит, фенопласт).

Наполнители обеспечивают требуемые физико-механические свойства и снижают стоимость пластмасс. Различают три группы наполнителей:

- 1) волокнистые (волокна – стеклянное, асбестовое, графитовое и т.д.);
- 2) слоистые (бумага, картон, х/б ткань, стеклоткань, асботкань и т.д.);
- 3) порошки (цемент, тальк, молотый кварц, древесная мука и т.д.).

Органические наполнители повышают прочность, снижают хрупкость, но ухудшают термо- и водостойкость пластмасс. Минеральные наполнители повышают прочность, водо- и химическую стойкость, тепло- и электроизоляционные свойства пластмасс, но часто увеличивают их хрупкость и плотность.

Пластификаторы способствуют повышению пластичности пластмасс или расширению температурного интервала их вязкотекучего состояния. В качестве пластификаторов используют органические вещества с высокой температурой кипения и низкой температурой замерзания (стеарин, дибутилфтолат, олеиновая кислота и т.д.).

Отвердители (различные амины), или *катализаторы* (перекисные соединения), вводят в терморезактивные пластмассы для ускорения процессов отверждения пластмасс.

Красители органического и минерального происхождения придают пластмассам необходимый цвет.

Стабилизаторы (например сажа) препятствуют старению полимерных материалов.

Смазывающие вещества вводят для уменьшения прилипаемости пластмассовых изделий к металлическим частям пресс-форм.

ВИДЫ ПЛАСТМАСС

К термопластичным пластмассам, связующим веществом в которых являются полимеры с макромолекулами линейной или разветвленной структуры, относятся неполярные: полиолефины (полиэтилен, полипропилен и полиизобутилен), полистирол, фторопласт-4; полярные: полиметилметакрилат, поливинилхлорид, полиамиды и т.д.

Полиэтилен – кристаллизующийся полимер, который производят полимеризацией этилена ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$). Различают полиэтилен низкой плотности, получаемый при высоком давлении (ПЭВД) и содержащий 35-65 % кристаллической фазы, а также полиэтилен высокой

плотности, получаемый при низком давлении (ПЭНД) и содержащий 60-95 % кристаллической фазы. Полиэтилен химически стоек, нерастворим в воде, ацетоне, спирте, морозостоек до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, но склонен к старению.

Полипропилен $(-\text{CH}_2-\text{CHCH}_3-)$ – продукт полимеризации пропилена при низком давлении. Он более теплостоек (до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), чем полиэтилен, но менее морозостоек (до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Полистирол $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-)$ – прозрачный, аморфный полимер, диэлектрик, химически стоек, нерастворим в растворителях, но склонен к старению и имеет низкую (до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$) теплостойкость.

Фторопласт-4 $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n$ – полимер, имеющий макромолекулы в виде спиралей, химически стоек, диэлектрик.

Полиметилметакрилат (органическое стекло, или плексиглаз) – полярный, прозрачный, аморфный полимер на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. В отличие от минерального стекла органическое значительно легче (более чем в 2 раза), пропускает ультрафиолетовые лучи, технологично, но обладает меньшими твердостью, прочностью и теплостойкостью.

Полиамиды (капрон, нейлон и т.д.) – полярные пластмассы на основе кристаллизующегося полимера, содержащего группы CO , NH и CH_2 . Они характеризуются высокими прочностью, теплостойкостью, износостойкостью и низким коэффициентом трения, способностью погашать вибрации. Недостатки полиамидов – склонность к старению и гигроскопичность. Введение наполнителей (графит, тальк, дисульфит молибдена) обеспечивает повышение антифрикционных и других свойств.

Поливинилхлорид – полярный, аморфный полимер состава $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)$. Непластифицированный поливинилхлорид называют винипластом. Он отличается высокой химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, большой ударной прочностью.

Среди терморезистивных пластмасс широкое распространение получили **фенопласты**, основой которых являются фенолоформальдегидные смолы. Фенопласты имеют хорошие механические и диэлектрические свойства, высокую химическую стойкость и твердость. Различают ненаполненные фенопласты и наполненные: порошковые (наполнители – древесная мука, тальк и т.д.); волокнистые (волокниты, асбо- и стекловолокниты); слоистые (асботекстолит, гетинакс, и т.д.). При изготовлении автомобильных деталей из фенопластов широко применяют слоистые пластики.

Асботекстолит получают горячим прессованием асбестовой ткани, пропитанной резольной смолой. Иногда асбестовая ткань армируется медной проволокой для повышения прочности и электропроводности. Асботекстолит обладает высокой теплостойкостью и хорошими фрикционными свойствами.

Текстолит получают из связующего (фенолоформальдегидная смола) и наполнителя (хлопчатобумажные ткани). Текстолит обладает высокой стойкостью к истиранию, прочностью, способностью поглощать шумы и вибрации.

Гетинакс изготавливают горячим прессованием листов бумаги, пропитанных резольной смолой.

Стеклопластики изготавливают из синтетических смол (связующих) и стеклянного волокна (армирующий и усиливающий наполнитель). Они обладают высокой прочностью и небольшой плотностью.

В табл. VIII приложения приведены свойства и назначение некоторых пластмасс.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить состав, свойства и область применения пластмасс.
2. Изучить и зарисовать структуры образцов пластмасс – стекло-текстолита, пресс-порошка и стекловолокнита.
3. Провести испытания образцов пластмасс – полиэтилена, текстолита, винипласта и др. – на растяжение (ГОСТ 11262-80) и определить следующие характеристики: $\sigma_{\text{пц}}$, $\sigma_{\text{т}}$, $\sigma_{\text{в}}$.
4. Провести динамические испытания по определению ударной вязкости (ГОСТ 4647-80).
5. Определить твердость по Роквеллу (ГОСТ 24622-81).
6. Полученные данные занести в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Материал	$\sigma_{\text{пц}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	КСУ, МДж/м ²	НР	Назначение

7. Сравнить изученные физико-механические свойства пластмасс со свойствами металлов, приведенными в данном пособии.

8. Оформить отчет, в котором перечислить свойства пластмасс; кратко описать их строение и состав; привести структуру рассмотренных образцов и полученные экспериментальные данные; сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию пластмасс по поведению при тепловом воздействии.
2. Назовите основные группы терморезистивных наполненных пластмасс.
3. Перечислите основные достоинства и недостатки пластмасс.
4. Укажите состав, особенности свойств, применение слоистых пластиков.
5. Назовите основные компоненты пластмасс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практикум предназначен для изучения дисциплины «Материаловедение», которая вместе с другими общепрофессиональными дисциплинами лежит в основе процесса обучения бакалавров по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

В качестве основных тем практикума выбраны «Исследование макроструктуры металлов и сплавов», «Методы испытаний механических свойств материалов и их характеристики», «Теория металлических сплавов», «Железо и сплавы на его основе», «Термическая обработка стали», «Легированные стали» и «Неметаллические материалы».

Данное пособие позволит студентам составить представление о сущности, строении и свойствах основных конструкционных и инструментальных металлических и неметаллических материалов, технологическом процессе термической обработки сталей и влиянии его параметров на структуру и свойства стали, а также некоторых методах исследования строения и свойств материалов.

Полученные знания помогут студентам при изучении других общепрофессиональных и специальных дисциплин и позволят грамотно выполнять курсовые и дипломные проекты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник / О.С. Комаров [и др.]; под общ. ред. О.С. Комарова. – 2-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2007. – 567 с.
2. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. – М.: Оникс, 2007. – 624 с.
3. Петровнина, И.Н. Материаловедение [Текст]: курс лекций / И.Н. Петровнина. – Пенза: ПГУАС, 2005.
4. Колесник, П.А. Материаловедение на автомобильном транспорте [Текст] / П.А. Колесник, В.С. Капица. – 2-е и 3-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2007; 2010. – 320 с.
5. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Текст] / С.Н. Колесов. – М.: ВШ, 2004.
6. Ржевская, С.В. Материаловедение [Текст] / С.В. Ржевская. – М.: Логос, 2004.
7. Черепашин, А.А. Материаловедение [Текст] / А.А. Черепашин. – М.: Издат. центр «Академия», 2004.
8. Материаловедение [Текст] / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
9. Авиационное материаловедение. Ч. 1. Металлы и сплавы [Текст]: учеб. пособие / Я.С. Карпов [и др.]. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 127 с.
10. Гуляев, А.Н. Металловедение [Текст] / А.Н. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
11. Геллер, Ю.А. Материаловедение [Текст] / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1989. – 456 с.
12. Технологические методы обеспечения эксплуатационных свойств деталей транспортных средств [Текст]: учеб. пособие / В.М. Приходько [и др.]; под общ. ред. В.М. Приходько. – М.: Изд-во МАДИ, 2012. – 220 с.
13. Материаловедение [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Петрова [и др.]; под общ. ред. Л.Г. Петровой, Г.В. Гладовой, О.В. Чудиной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МАДИ, 2011. – 288 с.
14. Клементьев, С.М. Материалы, применяемые в автомобилестроении [Текст]: учеб. пособие / С.М. Клементьев, В.М. Пономарев. –

2-е изд. – Екатеринбург: Изд-во Ин-та экономики УрО РАН, 2009. – 206 с.

15. Материаловедение [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Петрова [и др.]; под общ. ред. Л.Г. Петровой, Г.В. Гладовой, О.В. Чудиной. – М.: Изд. МАДИ (ГТУ), 2008. – 288 с.

16. Клементьев, С.М. Материалы, применяемые в автомобилестроении [Текст]: учеб. пособие / С.М. Клементьев, В.М. Пономарев. – Чайковский: Изд-во ЧТИ (филиала) ИжГТУ, 2008. – 192 с.

Дополнительная литература

20. Тышкевич, В.Н. Расчет и изготовление конструкций из армированных пластиков [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Тышкевич, П.А. Кулько. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 175 с.

21. Сучкова, Л.Н. Терминологический словарь-справочник по материаловедению [Текст]: учеб. пособие / Л.Н. Сучкова, В.А. Житников, Г.С. Филиппов, С.Г. Филиппов. – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуза, 2008. – 110 с.

22. Коршунова, Т.Е. Задания для самостоятельной работы по курсу «Материаловедение» [Текст]: учеб. пособие / Т.Е. Коршунова. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2007. 84 с.

23. Гладова, Г.В. Износостойкие материалы [Текст]: учеб. пособие / Г.В. Гладова, Л.Г. Петрова, О.В. Чудина, Т.Е. Лихачева. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2005. – 94 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Т а б л и ц а I

Соотношение чисел твердости, определенных различными методами

Диаметр отпечатка d , мм	Для испытания вдавливанием				
	Стального шарика 10/3000 (на приборе типа Бринелля) HB	Алмазного конуса или стального шарика (на приборе типа Роквелла) при различных нагрузках			Алмазной пирамиды (на приборе типа Виккерса) HV
		1471 Н (конус) HRC	588 Н (конус) HRA	980 Н (шарик) HRB	
1	2	3	4	5	6
2,20	780	72	84	-	1124
2,25	745	70	83	-	1116
2,30	712	68	82	-	1022
2,35	682	66	81	-	941
2,40	653	64	80	-	868
2,45	627	62	79	-	804
2,50	602	60	78	-	746
2,55	578	58	78	-	694
2,60	555	56	77	-	650
2,70	534	54	76	-	606
2,75	514	52	75	-	587
2,80	495	50	74	-	551
2,85	461	48	73	-	502
2,90	444	46	73	-	474
2,95	429	45	72	-	460
3,00	415	43	72	-	435
3,05	401	42	71	-	423
3,10	388	41	71	-	401
3,15	375	40	70	-	390
3,20	363	39	70	-	380
3,25	352	38	69	-	361
3,30	341	36	68	-	344
3,35	331	35	67	-	334
3,40	321	33	67	-	320

Продолжение приложения
Продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6
3,45	311	32	66	-	311
3,50	302	31	66	-	303
3,55	293	30	65	-	292
3,60	285	29	65	-	285
3,65	277	28	64	-	278
3,70	269	27	64	-	270
3,75	262	26	63	-	261
3,80	255	25	63	-	255
3,85	248	24	62	-	249
3,90	241	23	62	102	240
3,95	235	21	61	101	235
4,00	229	20	61	100	228
4,05	223	19	60	99	222
4,10	217	17	60	98	217
4,15	212	15	59	97	213
4,20	207	14	59	95	208
4,25	201	13	58	94	201
4,30	197	12	58	93	197
4,35	192	11	57	92	192
4,40	187	9	57	91	186
4,45	183	8	56	90	183
4,50	179	7	56	90	178
4,55	174	6	55	89	174
4,60	170	4	55	88	171
4,65	167	3	54	87	166
4,70	163	2	53	86	162
4,75	159	1	53	85	159
4,80	156	0	52	84	155
4,85	152	-	-	83	152
4,90	149	-	-	82	149
4,95	146	-	-	81	148
5,00	143	-	-	80	143
5,05	140	-	-	79	140
5,10	137	-	-	78	138
5,15	134	-	-	77	134

Продолжение приложения
Окончание табл. I

1	2	3	4	5	6
5,20	131	-	-	76	131
5,25	128	-	-	75	129
5,30	126	-	-	74	127
5,35	123	-	-	73	123
5,40	121	-	-	72	121
5,45	118	-	-	71	118
5,50	116	-	-	70	116
5,55	114	-	-	68	115
5,60	111	-	-	67	113
5,65	109	-	-	66	11
5,70	107	-	-	65	109
5,75	105	-	-	64	108

Продолжение приложения
Таблица II

Химический состав углеродистой стали обыкновенного качества группы Б

Марка стали	Содержание элементов, %									
	Углерода	Марганца	Кремния	Р	С	Cr	Ni	Cu	As	
БСт0	≤0,23	-	-	0,07	0,06	-	-	-	-	-
БСт1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	≤0,05	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт1пс	0,06-0,12	0,25-0,50	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	≤0,07	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт2пс	0,09-0,15	0,25-0,50	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	≤0,07	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт3Гпс	0,14-0,22	0,80-1,10	≤0,15	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	≤0,07	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт4пс	0,18-0,27	0,40-0,70	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт5пс	0,28-0,37	0,50-0,80	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт5Гпс	0,22-0,30	0,80-1,20	≤0,15	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08
БСт6сп	0,38-0,49	0,50-0,80	0,15-0,35	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,08

Продолжение приложения
Таблица III

Механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества группы А

Марка стали	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа, для толщин, мм			Относительное удлинение δ , %, для толщин, мм		
		до 20	20-100	более 100	до 20	20-40	более 40
Ст0	Не менее 310	–	–	–	23	22	20
Ст1кп	310-400	–	–	–	35	34	32
Ст1пс, Ст1сп	320-420	–	220-200	190	34	33	31
Ст2кп	330-420	220	220-200	190	33	32	20
Ст2пс, Ст2сп	340-440	230	230-210	200	32	31	29
Ст3кп	370-470	240	240-220	200	27	26	24
Ст3пс, Ст3сп	380-490	250	250-230	210	26	25	23
Ст3Гпс	380-500	250	250-230	210	26	25	23
Ст4кп	410-520	260	260-240	230	25	24	22
Ст4пс, Ст4сп	420-540	270	270-250	240	24	23	21
Ст5пс, Ст5сп	500-640	290	290-270	260	20	19	17
Ст6пс, Ст6сп	Не менее 600	320	320-300	300	15	14	12

Продолжение приложения
Таблица IV
Химический состав и механические свойства углеродистой конструкционной стали

Марка стали	Содержание элементов, %				Механические свойства				
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром, не более	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
05кп	$\leq 0,06$	$\leq 0,03$	$\leq 0,40$	0,10	–	–	–	–	
08кп	0,05-0,11	$\leq 0,03$	0,25-0,50	0,10	196	324	33	60	
08пс	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,10	196	324	33	60	
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10	196	324	33	60	
10кп	0,07-0,14	$\leq 0,07$	0,25-0,50	0,15	206	333	31	55	
10пс	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,65	0,15	206	333	31	55	
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	206	333	31	55	
15кп	0,12-0,19	$\leq 0,07$	0,25-0,50	0,25	225	373	27	55	
15пс	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25	225	373	27	55	
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	225	373	27	55	
20кп	0,17-0,24	$\leq 0,07$	0,25-0,50	0,25	245	412	25	55	
20пс	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25	245	412	–	55	
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	245	412	–	55	
25	0,22-0,30	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	274	451	23	50	
30	0,27-0,35	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	294	490	21	50	
35	0,32-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	314	529	20	45	

Продолжение приложения
Окончание табл. IV

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	321	568	19	45
45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	353	598	16	40
50	0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	373	627	14	40
55	0,52-0,60	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	382	647	13	35
60	0,57-0,65	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	402	676	12	35
65	0,62-0,70	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	420	730	10	30
70	0,67-0,75	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	430	800	9	30
75	0,72-0,80	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	900	900	7	30
80	0,77-0,85	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	950	1100	6	30
85	0,82-0,90	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	1000	1150	6	30
60Г	0,57-0,65	0,17-0,37	0,70-1,00	0,25	420	710	11	35
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	0,25	430	750	9	–
70Г	0,67-0,75	0,17-0,37	0,90-1,20	0,25	440	800	8	–

Продолжение приложения
Таблица V

Химический состав и механические свойства углеродистой инструментальной стали

Мар- ки стали	Содержание элементов, %										σ_B , МПа
	Углерод	Марганец	Кремний	не более					Cr	Ni	
				S	P	Cu					
У7	0,65-0,74	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	650
У8	0,75-0,84	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	650
У8Г	0,80-0,90	0,33-0,58	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	650
У9	0,85-0,94	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	650
У10	0,95-1,09	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	750
У11	1,06-1,13	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	750
У12	1,10-1,29	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	750
У7А	0,65-0,74	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	650
У8А	0,75-0,84	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	650
У8ГА	0,80-0,90	0,33-0,58	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	650
У9А	0,85-0,94	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	650
У10А	0,95-1,09	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	750
У11А	1,06-1,13	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	750
У12А	1,10-1,29	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	750

Продолжение приложения
Таблица VI

Структура, свойства и назначение чугунов

Марка сплава	Механические свойства			Назначение	
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	5	6
1	2	3	4	5	6
140. Серые чугуны (графит пластинчатой формы)					
Ферритные					
СЧ 00	не испытывается	не испытывается	не испытывается	не испытывается	Детали неотвеч- ственного назна- чения (крышки, шквивы и т.д.)
СЧ 10	100	-	-	не более 190	
СЧ 15	150	-	-	163-210	
Ферритно-перлитные					
СЧ 18	180	-	-	163-220	Станины станков и механизмов, поршни, цилиндры
СЧ 20	200	-	-	170-250	
Перлитные					
СЧ 25	258	-	-	180-250	Детали, работа- ющие на износ: тор- мозные барабаны, цилиндры, шестерни
СЧ 30	300	-	-	180-269	
СЧ 35	350	-	-	220-275	
2. Ковкие чугуны (графит хлопьевидной формы)					
Ферритные					
КЧ 35-10	342	-	10	100-163	Фланцы, муфты
КЧ 37-12	362	-	12	110-163	
КЧ 40-5	400	-	5	140-201	

Продолжение приложения
Окончание табл. VIII

1	2	3	4	5	6
Ферритно-перлитные					
КЧ 45-7	441	-	7	150-207	Задний мост, кар-
КЧ 50-4	490	-	4	170-230	тер автомобиля, ступицы колес
<i>3. Высокопрочные чугуны (графит шаровидной формы)</i>					
Ферритные					
ВЧ 50	441	320	7	153-245	Траверсы прессов, фланцы, цилиндры, шестерни
Ферритно-перлитные					
ВЧ 60	588	393	2	200-280	Картеры коробок передач, коленча- тые валы, распре- делительные валы
Перлитные					
ВЧ 80	800	480	2	248-351	Цилиндры, поршни
ВЧ 100	1000	700	2	270-360	
<i>4. Отбеленный чугун (цементит и перлит в поверхностном слое)</i>					
-	-	-	-	300-450	Прокатные валки, рабочие части раз- мольного оборудо- вания, колеса неответственного назначения

Продолжение приложения
Таблица VIII

Термическая обработка, получаемая структура, свойства и назначение легированных сталей

Группа сталей	Марки сталей	Термическая обработка	Получаемая структура	Механические свойства				Назначение	
				σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %		НВ (HRC)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цементуемые	15Х, 15ХА, 20Х, 15ХФ, 20ХР, 18ХГ	Цементация, закалка и низкий отпуск	Мартенсит отпуска на поверхности (сорбит или троостит в сердцевине)	850	650	10	40	(54-62) 250 сердцевинны	Дегали, работающие в условиях износа при трении: шестерни, поршневые пальцы; распределительные валы, крестовины кардана и т.д.
Повышенной вязкости и прокаливаемости	20ХН, 12ХН2, 20ХН3А, 14Х2Н3МА	То же		950	800	12	50	(58-62) 260 сердцевинны	Зубчатые колеса автомобилей ЗИЛ, ГАЗ, УАЗ
Для тягеложных грузеных деталей	18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 25Х2ГТНА	То же	То же	1200-1400	950-1100	10	50	(56-62) 340	Зубчатые колеса автомобилей ЗИЛ, КАМАЗ, КРАЗ

Продолжение приложения
Продолжение табл. VII

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Для ударных нагрузок	20ХГР, 27ХГР, 20ХГР	То же	То же	1100- 1300	900- 1000	10	50	(54-60) 300	Зубчатые колеса автомобилей, камеродрилок, подъемников и т.д.
Улучшаемые									
Средненагруженные детали	30Х, 40Х, 40Г, 40ХН	Улучшенные (закалка и высокий отпуск)	Сорбит отпуска	850- 930	700- 780	11- 18	65	270	Оси, рычаги, коленчатые валы, шестерни коробок передач автомобилей, шатуны, тяги, траверсы, болты, шпильки и т.д.
Детали, работающие при наибольших удельных нагрузках	30ХГСА, 40ХГСА, 30ХН2ВФ, 18Х2Н4ВА	То же	То же	1100- 1150	850	10- 15	30- 55	267	Валы, детали рулевого управления, тяжело нагруженные детали редукторов компрессорных машин, шатуны и т.д.

Продолжение приложения
Продолжение табл. VII

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пружинно-ресорные пониженной проч-ности	60Г, 65Г, 70, 75, 70Г	Закалка и средний отпуск	Троостит отпуска	1000- 1150	800- 1000	7- 10	25- 35	320-420	Пружины механизмов и машин
средней проч-ности	50ХГ, 55ХГР, 55С2, 60С2	То же	То же	1300- 1600	1100- 1400	5-8	20- 35	360-480	Рессоры автомобилей, пружины подвижного состава ж/д транспорта
повы- шенной проч-ности	70С2ХА, 70С3А, 60С2ХФА	То же	То же	1600- 1900	1450- 1700	6-8	20- 25	380-480	Пружины часовых ме- ханализмов и механизмов тяжелонагруженных машин
Инстру- менталь- ные									
<i>нетепло- стойкие</i> (до 120 °С) прокали- ваемость: повышен- ная	11Х, ХВСГ, 9ХС, ХВГ	Закалка и низкий отпуск	Мартенсит отпуска и карбиды	200	160	2	15	(62-68)	Режущий и штамповый инструмент сложной формы диаметром до 60 мм

Продолжение приложения
Продолжение табл. VII

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высокая	7ХГ2ВМ, 7ХГНМ, ХГ2М	То же	То же	240	220	2	15	(59-60)	Крупные инструменты сложной формы и высокой точности
<i>Нетепло-стойкие</i> (до 200°С) высокой вязкости	6ХЗФС, 6ХС, 7ХФН, ХЗ	Закалка и низкий отпуск (изотермическая закалка)	Мартенсит отпуска и карбиды (бейнит)	150	120	6	18	(56-68)	Инструменты, работающие при динамических нагрузках: пневмомолотки, деревообрабатывающий инструмент, штампы, зубила и т.д.
<i>Полупер-лостойкие</i> (до 300 °С)	Х6ВФ, Х12Ф1, Х12М, 9Х18,Х14 М	Закалка и низкий отпуск с обработкой холодом	Мартенсит отпуска и карбиды	150	130	5	15	(57-62)	Штампы холодного деформирования, в том числе и крупных: вырубных, вытяжных, для прессования и т.д.
<i>Полупер-лостойкие</i> (до 425 °С)	5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, 4ХСМФ	Закалка и отпуск (300-500 °С)	Мартенсит отпуска и карбиды	120	100	8	20	(45-48)	Крупные штампы горячего деформирования
<i>Тепло-стойкие</i> (до 650 °С)	Р18, Р6М5, Р12, Р18Ф2К5, Р8М3Ф2	Закалка и трехкратный отпуск (550-570 °С)	Мартенсит отпуска и карбиды	300	160	4	10	(58-68)	Режущие инструменты размером до 40 мм

Продолжение приложения
Продолжение табл. VII

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коррозионно-стойкие,	12X13	Закалка и высокий отпуск	Феррит и карбиды	600	420	20	60	200-220	Лопатки турбин, арматура крекинг-установок (до 500 °С)
стойкие в слабо-агрессивных средах (воздух, вода, пар)	20X13, 30X13, 40X13 12X17	То же Закалка и низкий отпуск Отжиг (760-780 °С)	То же Мартенсит Феррит	850 1600 1840 400	650 1300 1620 245	10 - 1 20	50 - 2 50	(50-52) (48-55) (50-56)	Карбюраторные иглы, хирургический инструменты, пружины, клапаны гидравлических прессов. Оборудование заводов пищевой и легкой промышленности.
Повышенной стойкости против коррозии	15X28 12X18Н9, 12X18Н10Т 09X15Н8 Ю	Отжиг (680-720 °С) Закалка и отпуск (750 °С) Закалка, обработка холодом и старение	Феррит Аустенит и карбиды Мартенсит и аустенит	450 560 1200	300 230 900	20 46 10	- 66 45	- - -	Сварная аппаратура (детали выхлопных систем, трубы, баки); стойкость в морской воде, органических и азотной кислотах. Диски, валы (стойкие в растворах хлористого цинка, в фосфорных удобрениях)

Продолжение приложения
Окончание табл. VII

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жаро-прочные, для ра- боты при 400- 450 °С Для работы при 500- 600 °С Для работы при 600- 650 °С	12Х1МФ	Нормали- зация и отпуск (725 °С)	Феррит и бейнит	470	255	21	55	-	Арматура паровых кот- лов, трубы пароперегре- вателей
	40Х10С2 М	Закалка и отпуск (750 °С)	Мартенсит	950	735	10	35	-	Клапаны моторов, кре- пежные детали
	45Х14Н14 В2М	Отжиг (820 °С)	Аустенит	710	315	20	35	-	Трубопроводы, клапа- ны моторов, крепежные детали

Продолжение приложения
Таблица VIII

Физико-механические свойства и назначение пластмасс

Материал	Состав	Допустимая температура, °С	ρ, кг/м ³	Механические свойства			Назначение	
				σ _в , МПа	δ, %	КС, кДж/м ²		НВ, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Полиэтилен низкого давления	Химически чистый полимер	125	955	20-40	300-800	-	450-580	Емкостные детали для хранения жидкостей; корпусные детали; трубки; масленки; ручки; кнопки; щетки
Полистирол	То же	70	1080	40-60	4	2	145	Стекла приборов освещения; сигнальные стекла; детали электроарматуры; детали внешней облицовки
Фторопласт-4	То же	250	2350	20-40	250-500	16	39-49	Антифрикционные и антикоррозионные покрытия на металлах; трубы; уплотнительные прокладки
Винипласт	То же	80	1400	40-60	10-50	2-4	30-100	Банки аккумуляторных батарей; прокладки; внутренняя обшивка кузова
Органическое стекло	То же	65-90	1200	80	5-6	2	100	Пылезащитные линзы; внутренние плафоны; стекла габаритных фонарей

Окончание приложения
Окончание табл. VIII

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Полиамид ПА-610	То же	1350	110	90-120	6-9	20	100-150	Втулки, вкладыши, шестерни, стеклодержатели; корпуса и крышки карбюратора; фильтр топливного насоса
Пресс-прошки	Терморезиновая смола + порошковый образный наполнитель	150	1400	30-60	1-2	0,5-5	200	Изолирующие втулки; шайбы; ручки; детали электрооборудования
Стекловолокнит АГ-4С	Т/р смола + стекловолокно	1800	260	200	1-2	25-150	425	Крышки аккумуляторных батарей; кожки вентиляторов; уплотнения насосов; золотники
Гетинакс	Т/р смола + бумага	1400	150	80-100	1-2	4-5	-	Изолирующие прокладки; печатные платы; внутренняя облицовка ж/д вагонов, кают судов, кабин самолетов
Текстолит	Т/р смола + х/б ткань	1400	125	70-100	1-2	20-35	250-350	Зубчатые колеса; вкладыши подшипников; втулки; изоляционные детали электрооборудования
Асботекстолит	Т/р смола + асботкань	1700	500	70-100	1-2	29-34	300	Тормозные накладки и накладки дисков сцепления

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа № 1 МАКРОАНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА.....	13
Лабораторная работа № 3 ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ..	24
Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ.....	29
Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД.....	46
Лабораторная работа № 6 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ.....	57
Лабораторная работа № 7 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ	67
Лабораторная работа № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	75
Лабораторная работа № 9 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ.....	85
Лабораторная работа № 10 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	103
ПРИЛОЖЕНИЕ	105

Учебное издание

Петровнина Ирина Николаевна
Романенко Игорь Иванович

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
Практикум

Издание 2-е, дополненное

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 14.01.2013. Формат 60x84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 7,2. Уч.-изд.л. 7,75. Тираж 300 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ № 76.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28