

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

И.Ю. Шитова, С.Н. Кислицына

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам
по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»

Пенза 2016

УДК 620.22(075.8)

ББК 30.3я73

Ш64

Рецензенты: доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производ-
ства» В.И. Логанина (ПГУАС)
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Высшая и прикладная мате-
матика» О.В. Болотникова (ПГУ)

Шитова И.Ю.

Ш64 Материаловедение. Технология конструкционных материалов.
учеб.-метод. пособие к лабораторным работам по направлению
подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревопе-
рерабатывающих производств»/ И.Ю. Шитова, С.Н. Кислицына. –
Пенза: ПГУАС, 2016. – 104 с.

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

Подготовлено на кафедре «Технология строительных материалов и деревообработки» и предназначено для использования студентами дневного отделения по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

© Пензенский государственный университет
архитектурны и строительства, 2016

© Шитова И.Ю., Кислицына С.Н., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебной программой курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» для студентов направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» предусмотрены лекционные, а также лабораторные занятия, в процессе выполнения которых обучающиеся знакомятся с основными свойствами металлов и сплавов, методами их лабораторных испытаний, применяемыми при этом приборами, инструментами, аппаратурой, а также техническими требованиями, предъявляемыми к качеству металлов и изделий из них.

Цель преподавания дисциплины – формирование у студентов теоретических и практических знаний в области материаловедения и умений практического применения при проектировании и эксплуатации металлических конструкций.

Задачи дисциплины:

- дать теоретические знания в области проблем создания материалов с необходимыми свойствами;
- дать практические рекомендации по выбору конструкционных материалов для металлических строительных конструкций;
- показать пути повышения качества конструкционных материалов, надежности изделий и снижения техногенного риска.

В результате изучения настоящего курса студент должен:

знать физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации; их взаимосвязь со свойствами; основные свойства современных металлических материалов;

уметь правильно выбрать в соответствии с эксплуатационными, технологическими и экономическими требованиями материал для изготовления деталей конструкций и назначить вид упрочняющей обработки;

иметь представление о перспективных направлениях по созданию новых конструкционных материалов.

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» относится к профессиональному циклу (базовая часть). Для освоения данной дисциплины используются знания и умения, приобретенные при изучении дисциплин естественнонаучного и общетехнического цикла таких как, математика, физика, химия, и др.

Данная дисциплина подготавливает студентов к освоению специальных дисциплин, изучающих основные производственные технологии и процессы.

Знание основ материаловедения необходимо человеку, работающему в сфере эксплуатации современных машин и конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие свойств материалов является главным фактором, определяющим их широкое применение в технике. Материалы обладают отличающимися друг от друга свойствами, причем каждое зависит от особенностей внутреннего строения материала. В связи с этим, материаловедение как наука занимается изучением строения материалов в тесной связи с их свойствами.

Основные свойства материалов подразделяются на физические, механические, технологические и эксплуатационные. От физических и механических свойств зависят технологические и эксплуатационные свойства материалов.

Среди механических свойств прочность занимает особое место, так как от нее зависит неразрушаемость изделий под воздействием эксплуатационных нагрузок. Учение о прочности и разрушении является одной из важнейших составных частей материаловедения. Оно является теоретической основой для выбора подходящих конструкционных материалов для деталей различного целевого назначения и поиска рациональных способов формирования в них требуемых прочностных свойств для обеспечения надежности и долговечности изделий.

Основными материалами, используемыми в промышленности, являются, и еще долго будут оставаться, металлы и их сплавы. Поэтому основной частью материаловедения является металловедение, в развитии которого ведущую роль сыграли российские ученые, а именно П.П. Аносов, Д.К. Чернов, Н.С. Курнаков, А.П. Гуляев и другие.

В настоящем лабораторном практикуме приводятся методики изучения макро- и микроструктурного строения металлов и их сплавов, определения основных механических свойств, подробно изучаются диаграммы состояния различных сплавов и т.д. Для лучшего усвоения материала и овладения практическими навыками использования теоретических знаний помогает решение экспериментальных задач (им посвящено две работы по пройденным темам) и контрольные вопросы, приведенные в конце каждой 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 и 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 хлорида меди, 53 г хлорида аммония и 1 л воды.
7. 5 %-й водный раствор серной кислоты.
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.

1.1. Приготовление макрошлифов для макроскопического исследования металлов

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

Макроанализ применяют для выявления:

- формы и расположения зерен в литом металле; направления 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:

- на поверхности заготовки или детали; на изломе;
- на вырезанном образце после его шлифования и травления специальным реактивом.

Шлифованный и протравленный образец называют *макрошлифом (темплет)*.

Образец для макроанализа вырезают на металлорежущем станке или ножовкой.

Одну из плоских поверхностей образца выравнивают напильником или на плоскошлифовальном станке. Затем образец шлифуют вручную или на шлифовально-полировальном 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 погружением в них образцов. Реактив активно взаимодействует с участками, где имеются дефекты или неметаллические включения, протравливает их сильнее. Поверхность макрошлифа получается рельефной. Протравленный макрошлиф промывают водой, обрабатывают спиртом и высушивают для предотвращения коррозии.

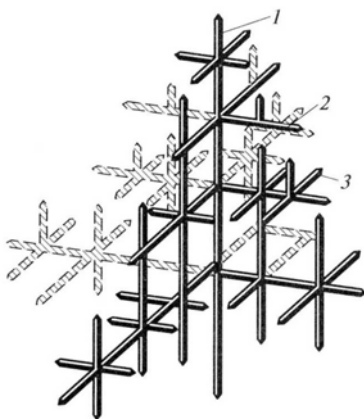
1.2. Выявление строения литой стали

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

Рост зерна происходит неравномерно (рис. 1.1, а). Максимальная скорость роста кристаллов наблюдается по тем плоскостям и направлениям, которые имеют наибольшую плоскость упаковки атомов. В результате вырастают длинные ветви, которые называются осями первого порядка (кристаллизация наиболее тугоплавких элементов сплава). На осях первого порядка появляются и начинают расти ветви второго порядка, от которых отходят ветви третьего порядка и т. д. Кристаллизация завершается затвердеванием междендритного пространства (самые легкоплавкие элементы сплава).

Типичная структура слитка сплавов (рис. 1.1, 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. перпендикулярно стенкам формы; 3 – зоны равноосных кристаллов больших размеров.

а



б

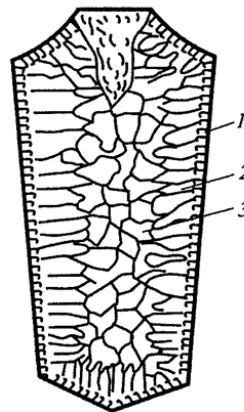


Рис. 1.1. Строение слитка:

а – дендритный кристалл:

1, 2, 3 – оси соответственно первого, второго и третьего порядка;

б – зонная структура слитка:

1 – мелкие равноосные кристаллы; 2 – столбчатые кристаллы;

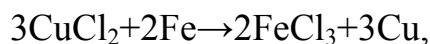
3 – крупные равноосные кристаллы

Строение литой стали (дендритной структуры) выявляют травлением отшлифованного образца в реактиве состава: 85 г хлорида меди, 53 г хлорида аммония и 1 л воды.

Дендритную структуру стали определяют следующим образом:

– отшлифованную поверхность образца протирают ватой, смоченной спиртом;

– образец погружают в указанный реактив и выдерживают в нем 1,5...2 мин; за время выдержки макрошлифа железо с поверхности образца растворяется и вытесняет из реактива медь, которая осаждается на поверхности образца; протекает реакция



– поверхность макрошлифа в процессе травления покрывается тонким налетом меди;

– налет меди с поверхности макрошлифа удаляют промыванием водой; просушивают образец, прикладывая к его рабочей поверхности листы фильтровальной бумаги; поверхность макрошлифа изучают и анализируют.

1.3. Определение химической неоднородности серы

Сера – вредная примесь, 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°C , располагающуюся по границам зерен. При нагреве стали до температуры горячей де-

формации (1000...1200 °С) эвтектика расплавляется, нарушается связь между зернами, вследствие чего при деформации сталь хрупко разрушается. Поэтому содержание серы в сталях строго регламентировано.

Определение химической неоднородности (ликвации) серы в стальных образцах производят по методу Баумана (рис. 1.2), для чего необходимо:

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

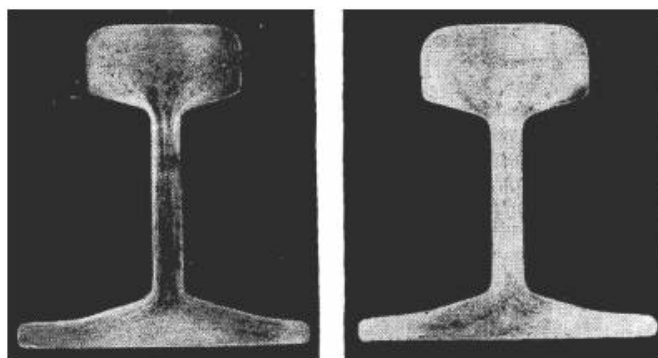
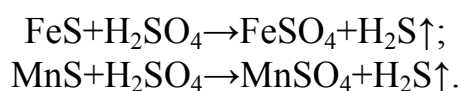
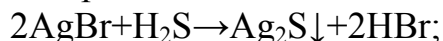


Рис. 1.2. Макроструктура металла. Отпечаток на серу по Бауману на макрошлифе темплета, вырезанного из железнодорожного рельса

При наличии в металле сульфидных включений FeS и MnS между ними и серной кислотой, оставшейся на фотобумаге, происходят следующие реакции:



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



– полученный отпечаток промыть 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.

– сернистые отпечатки визуально и с помощью лупы изучить и проанализировать; наблюдаемые на фотобумаге вкрапления темно-коричневого цвета свидетельствуют о наличии сернистых соединений;

– количество и характер расположения сульфидных включений на фотоотпечатках сравнить с 5-балльной шкалой сернистых отпечатков, установить оценочный балл по каждому отпечатку.

Отпечатки, оцененные 1...3 баллами, свидетельствуют о соответствии исследуемой стали ее назначению, а отпечатки, оцененные 4...5 баллами, указывают на низкое качество соответствующей стали, поэтому последняя должна быть забракована.

1.4. Выявление волокнистости стали

При обработке стали давлением прокатке, ковке, штамповке, дендриты и неметаллические включения (сульфиды, оксиды, шлаки) частично раздробляются и вытягиваются вдоль направления деформации. Формируется полосчатая, волокнистая структура (рис. 1.3).

Волокнистое строение металла обуславливает ярко выраженную анизотропию его свойств (различие показателей свойств образцов, вырезанных вдоль и поперек волокна).

Например, ударная вязкость, пластичность и прочность образцов, вырезанных вдоль волокна, выше, чем образцов, вырезанных 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.

Волокнистость стали, определяют травлением отшлифованного образца в реактиве: 85 г хлорида меди, 53 г хлорида алюминия в 1 л воды (по методике выявления дендритной структуры стали).



Рис. 1.3. Макроструктура поковки полуоси автомобиля (направление волокон повторяет внешние ограничения поковки)

1.5. Макроанализ излома металла

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

случаев и причины разрушения металла. Анализ по виду излома – фраттографический анализ (англ. fracture излом, разрушение).

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 подразделяются на три группы:

- хрупкие (кристаллические);
- вязкие (волокнуистые);
- усталостные.

При хрупком изломе на поверхности имеются плоские блестящие участки (фасетки). Хрупкий излом показывает, что в данном состоянии обработки металл хрупкий и разрушается без заметной пластической деформации. Форма зерен при разрушении не искажается, поэтому на хрупком изломе видны исходные форма и размер зерен металла.

Хрупкие изломы происходят при действии следующих факторов:

- наличие многоосного напряженного состояния;
- высокая скорость нагружения;
- низкие температуры;
- концентраторы напряжения;
- трещины.

Хрупкость усиливается при неблагоприятном состоянии структуры материала:

- крупный размер зерна;
- наличие наклепа;
- распад твердого раствора.

Хрупкий излом может происходить как по границам зерен (межкристаллический), так и по зернам металла (транскристаллитный).

Транскристаллитный излом с избирательным блеском, связанный с упорядоченным кристаллическим строением отдельных областей, называется нафталинистым (рис. 1.4, а).

Межкристаллитный излом крупнозернистого металла называется камневым (рис. 1.4, б).

Если разрушение происходит по границам сопряженных дендритных кристаллов, то хрупкий излом называется дендритным (рис. 1.4, в).

Разрушение вдоль волокон деформированного металла, сильно загрязненного неметаллическими включениями, называется шиферным (рис. 1.4, г).

Вязкий излом имеет волокнуистую матовую поверхность и свидетельствует о том, что металл перед разрушением пластически деформируется. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла – они вытягиваются.

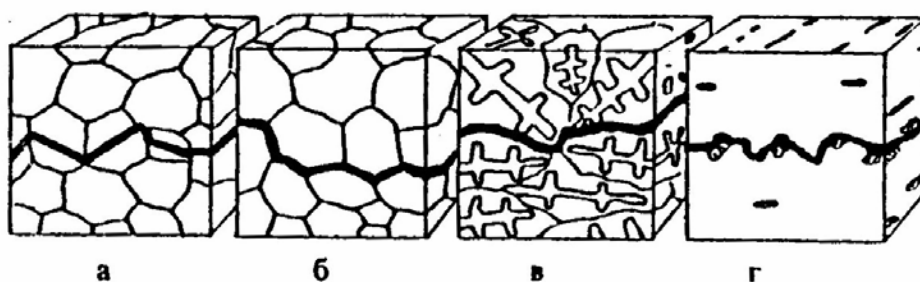


Рис. 1.4. Виды хрупких изломов:
а – нафталинистый; б – камневидный; в – дендритный; г – шиферный

Получение вязкого или хрупкого излома на одном и том же материале не всегда свидетельствует о структурных различиях. Один и тот же материал в одном и том же структурном состоянии может в зависимости от условий нагружения (температура, скорость, приложение нагрузки, характер напряженного состояния) обнаружить вязкое или хрупкое разрушение и, следовательно, волокнистый или кристаллический излом.

Излом усталости имеет характерную отличительную черту – наличие двух зон: усталостной трещины и зоны долома (остаточного излома).

Зона распространения усталостной трещины имеет притертую поверхность с чередующимися концентрическими линиями, расположенными вокруг очага усталостного разрушения перпендикулярно направлению распространения трещины. Очагами усталостного разрушения являются концентраторы напряжения. Ими могут стать: конструктивные недочеты (резкие переходы сечений, выточки, канавки, отверстия и т. д.), грубые риски от механической обработки, случайные повреждения поверхности, а также металлургические дефекты: газовые пузыри, флокены, микротрещины, неметаллические включения, резко выраженная ликвация – неравномерное распределение входящих в состав стали химических элементов по сечению слитка, унаследованные прокатом.

Если усталостная трещина при эксплуатации детали или конструкции на открытом воздухе не вышла на поверхность, то в месте излома имеет место светлое пятно; если вышла, то темное пятно (рис. 1.5). Непременным условием появления трещины усталости является повторяемость нагрузки.

Остаточный излом представляет собой ту часть излома, которая отвечает последней стадии излома детали, уже ослабленной трещиной усталости.

Усталостные трещины являются опасным дефектом, поскольку часто остаются незамеченными вплоть до разрушения. Единственным способом их обнаружения в конструкции является дефектоскопия.

Хрупкое разрушение при эксплуатации происходит внезапно, без видимых признаков пластической деформации и часто является причиной аварий.

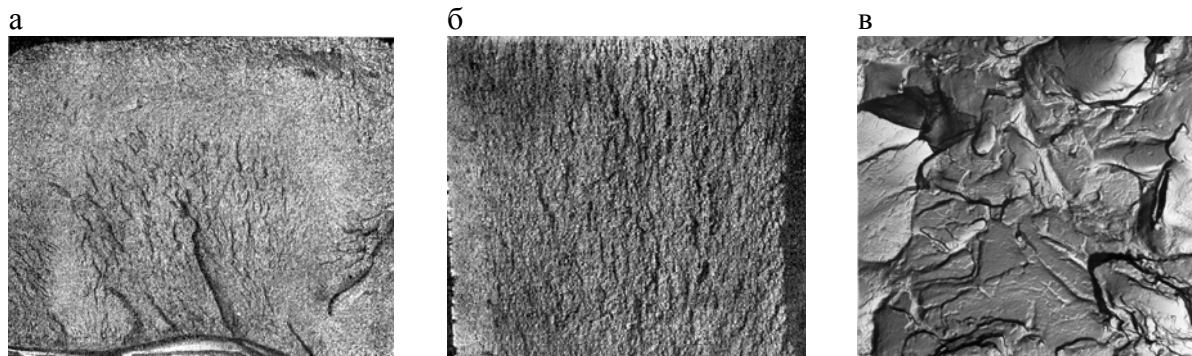


Рис. 1.5. Фрактографический сюжет:
а – усталостный излом; б – вязкий излом; в – хрупкий излом

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 двух 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 ее 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?
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 дендритной структуры стали?
4. Каким образом проводится исследование ликвации серы в сталях?
5. Как влияет волокнистое строение металла на его свойства?
6. Перечислите виды изломов металлов. Укажите отличия между ними.

Лабораторная работа №2

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ (МИКРОАНАЛИЗ)

Цель работы: изучить методику выявления микроструктуры металлов – приготовление микрошлифа, устройство и работу металлографического микроскопа, исследование микроструктуры. Установить зависимость качества металла от загрязнения неметаллическими включениями и размера зерна.

Лабораторное оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп.
2. Оборудование для приготовления микрошлифов; станок для обработки шлифов шлифовальной шкуркой и полировальными кругами.
3. Набор фотографий микроструктур.
4. Стандартные шкалы видов неметаллических включений и размеров зерна.

2.1. Сущность микроанализа

Микроскопический анализ – метод исследования структуры металлов и сплавов при помощи микроскопа на специально подготовленных образцах. Структура металлов, изучаемая при микроанализе – микроструктура.

Металлографический микроскоп дает увеличение от 50 до 1500 раз. Наиболее употребляемое увеличение в 500...600 раз. Изучение микроструктуры можно производить визуально или при помощи фотографирования.

Микроанализ позволяет определить:

- форму и размеры кристаллических зерен;
- строение сплавов после термической и химико-термической обработок;
- микропороки металла (микротрещины, раковины);
- засоренность неметаллическими включениями.

Можно приближенно определять химический состав сплавов (содержание углерода в стали в равновесном состоянии).

Микроанализ состоит из приготовления микрошлифа и исследования его под микроскопом.

2.2. Приготовление микрошлифа

Образец металла, приготовленный специальным способом для исследования его структуры под микроскопом, называется *микрошлифом*.

Особенность металлографического микроскопа: непрозрачный образец (микрошлиф) рассматривается в отраженном свете, поэтому поверхность его должна быть зеркальной.

Заторцовка, шлифование, полирование, травление – стадии приготовления микрошлифа.

Размеры микрошлифов должны быть небольшими (по возможности) ($\varnothing 10 \div 20$ мм или 10×10 ; 10×20 мм; высота обычно не превышает $15 \div 20$ мм).

Заторцовка. Образец закрепляется в тисках. С помощью напильника одна из его поверхностей (с необходимой стороны) опиливается на плоскость. Зачистка может быть произведена на наждачном круге.

Шлифование. Обработка заключается в шлифовании полученной плоскости на наждачной бумаге различных номеров (60, 80, 100, 120, 140, 180, 280, 320), начиная с крупных (125 мкм) и заканчивая мелкими (3...5 мкм) абразивными зернами. При переходе от более грубого номера бумаги к более тонкому, шлиф поворачивают на 90° и шлифуют до тех пор, пока риски от предыдущего номера бумаги не будут полностью ликвидированы. Шлифование выполняется вручную или на специальных станках.

Полирование. Шлифы полируются на вращающемся плоском круге (диске), покрытом сукном (войлоком). Круг смачивается водой с очень мелким абразивным порошком (окись хрома, окись алюминия) и приводится в быстрое вращение. Шлиф слегка прижимается к кругу. Полирование считается законченным, если удалены все риски и поверхность становится зеркальной. Широкое применение находит метод электрохимического полирования, когда образец в качестве анода помещается в электролит.

На полированном микрошлифе в большинстве случаев структура не видна. В микроскопе виден светлый круг, так как все падающие на поверхность шлифа лучи отражаются, если же шлиф имеет риски, то часть лучей, падающих на поверхность, рассеивается и видны темные полосы.

Если металл загрязнен, то обнаруживаются неметаллические включения (оксиды, сульфиды и т. д.), микропороки (поры, раковины, трещины), на поверхности чугуна – графит (рис. 2.1).

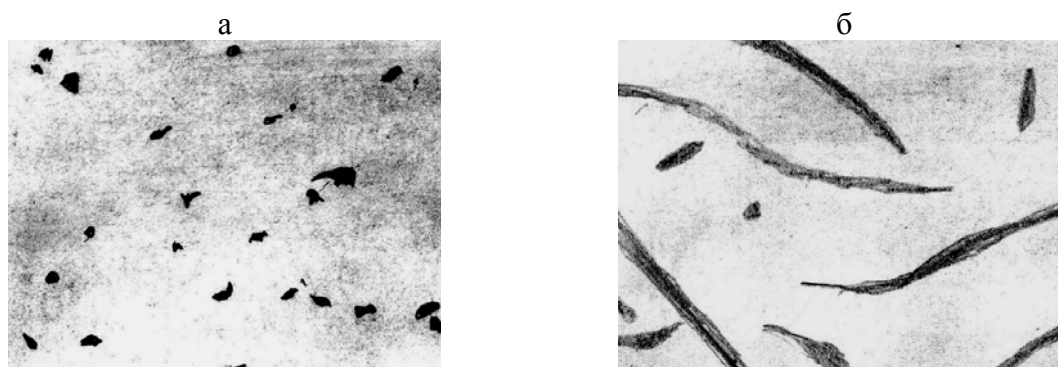


Рис. 2.1. Поверхность микрошлифа после полирования:
а – сталь; б – серый чугун X100

Травление. Для выявления микроструктуры полированную поверхность шлифа подвергают травлению различными химическими реактивами (травителями).

Сущность процесса травления заключается в различной растворимости в электролите отдельных химически неоднородных структурных составляющих сплава из-за неидентичности их электродных потенциалов. Зерна чистых металлов, твердых растворов, химических соединений травятся неодинаково.

Структурные составляющие, имеющие меньший электродный потенциал, являются анодами и хорошо растворяются в реактиве (сильно протравленные участки), а имеющие больший электродный потенциал – катодами (слабо протравленные участки). Из-за большого количества анодных и катодных участков на поверхности образуются многочисленные впадины и выступы. Образовавшийся микрорельеф приводит к потускнению поверхности микрошлифа после травления.

Под микроскопом слабо протравившиеся структурные составляющие отразят в поле зрения больше световых лучей и будут светлыми. Сильно протравившиеся структурные составляющие рассеют большее количество лучей и в поле зрения микроскопа будут темными.

Металл является поликристаллическим телом. Если его рассесть плоскостью шлифа, то в ней будут находиться различные сечения зерен и их границы, травимость которых неодинакова.

Схема, поясняющая видимость границ зерен металла под микроскопом, представлена на рис. 2.2 и 2.3.

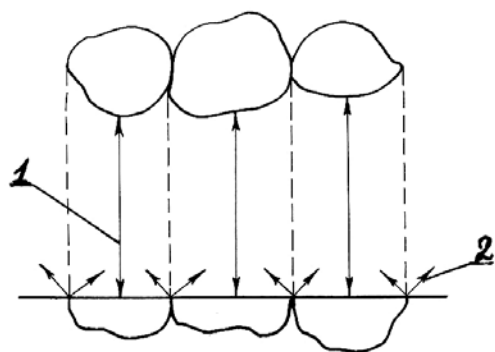


Рис. 2.2. Схема видимости границ зерен металла под микроскопом:
1 – отраженный луч от зерна;
2 – рассеянный (преломленный) луч на границе зерен

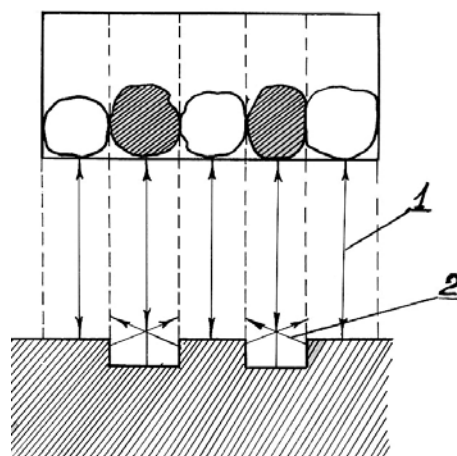


Рис. 2.3. Схема видимости структурных составляющих под микроскопом:
1 – отраженный луч от не протравившегося зерна; 2 – рассеянный луч от протравившегося зерна

Универсальным травителем для железоуглеродистых сплавов является 2...5 %-й раствор азотной кислоты в спирте.

Травление проводится следующим образом:

- отполированный шлиф загружается на несколько секунд полированной поверхностью в раствор;

- вынимается, промывается водой и сушится фильтрованной бумагой.

Если выдержка большая и шлиф сильно потемнел (перетравился), процесс повторяется после предварительной полировки.

2.3. Устройство металлографического микроскопа

Вертикальный металлографический микроскоп МИМ-7 предназначен для наблюдения и фотографирования микроструктуры металлов и сплавов.

Набор объективов и окуляров обеспечивает увеличение микроскопа от 50 до 1500 раз.

Металлографический микроскоп состоит из оптической и механической частей.

Осветительная система микроскопа. Шлиф освещается через объектив при помощи специальной осветительной системы, состоящей из источника света, серии линз и диафрагм (иногда применяются светофильтры). На рис. 2.4 приведена оптическая схема микроскопа МИМ-7. Световые лучи от источника света 1 проходят через собирательную линзу (коллектор) 2, отражаются от зеркала 3, проходят через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 6, фотозатвор 7, полевую диафрагму 8 и, претерпев полное внутреннее преломление в поворотной призме 9, попадают на полупрозрачную плоскопараллельную пластинку 11. Часть светового потока проходит через нее и рассеивается в микроскопе, а часть лучей отражается

вверх от пластинки, проходит через объектив 12 и через отверстие в предметном столике попадает на шлиф 13. Отраженные от шлифа лучи проходят через объектив 12, через прозрачную плоскопараллельную пластинку 11 и, отразившись от зеркала 14, через окуляр 15 попадают в глаз человека. В случае фотографирования зеркало 14 выдвигается в сторону вместе с окулярным тубусом, и лучи света проходят через фотоокуляр 16, отражаются от зеркала 17 и попадают на матовое стекло 18.

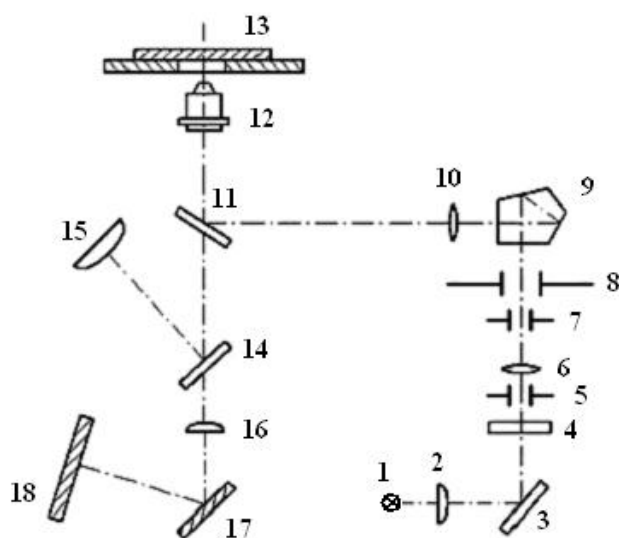


Рис. 2.4. Оптическая схема микроскопа МИМ-7

фотокамеры или на фотопластинку в кассете, вставленной вместо матового стекла.

Механическая система микроскопа. Общий вид металлографического микроскопа МИМ-7 представлен на рис. 2.5. Шлиф (исследуемой поверхностью вниз) устанавливают на вкладыш с отверстием предметного столика 3. Столик можно передвигать в двух взаимноперпендикулярных горизонтальных плоскостях с помощью винтов 2, это позволяет перемещать шлиф и просматривать микроструктуру в различных участках. Наводка шлифа на фокус производится макрометрическим винтом 4, вращением которого поднимают или опускают столик. Закрепление макровинта производится стопорным рычажком. Точное фокусирование достигается микрометрическим винтом 5, один оборот которого смещает объектив на доли миллиметра (одно деление барабана микровинта равно 2 мкм). Чем больше увеличение объектива, тем меньше должно быть расстояние между шлифом и объективом.

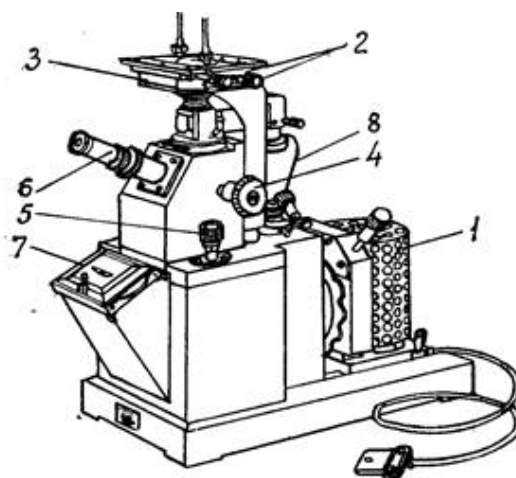


Рис. 2.5. Общий вид и устройство металлографического микроскопа МИМ-7:

- 1 – корпус; 2 – регулировочные винты предметного столика;
- 3 – предметный столик;
- 4 – макрометрический (грубый) механизм наводки на резкость;
- 5 – микрометрический винт настройки резкости изображения;
- 6 – окуляр; 7 – фотокамера;
- 8 – апертурная диафрагма

Оптика микроскопа. Оптика микроскопа состоит из объективов и окуляров. Объектив обращен к микрошлифу, окуляр – к глазу. В современных металлографических микроскопах объективы состоят из сложной системы линз. По своему характеру объектив и окуляр различны. Объектив дает активное увеличение (обратное увеличенное действительное изображение), т.е. позволяет получать детали изучаемой структуры. Окуляр дает пассивное увеличение, т.е. увеличивает изображение, данное объективом.

Увеличение объектива зависит от его фокусного расстояния F и числовой апертуры A , характеризующей угол, под который свет входит в объектив:

$$A = n \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (2.1)$$

где n – показатель преломления среды между объективом и микрошлифом; φ – отверстиеный угол объектива; вершина угла лежит в фокусе линзы, а стороны опираются на ее диаметры (рис. 2.6).

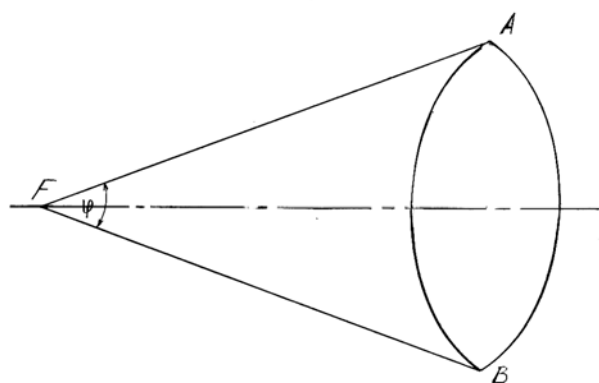


Рис. 2.6. Отверстный угол объектива

Объектив характеризует разрешающую способность микроскопа – минимальный размер частицы, которую можно увидеть в микроскопе:

$$d = \frac{\lambda}{A}, \quad (2.2)$$

где d – наименьшее расстояние между точками, изображение которых в микроскопе получается раздельно; λ – длина световой волны (для белого света $6 \cdot 10^{-5}$ см).

Объектив является самой существенной и ценной деталью микроскопа. Комбинируя объективы и окуляры, можно получать различные увеличения. Общее увеличение микроскопа получается перемножением увеличения объектива на увеличение окуляра.

Т а б л и ц а 2.1

Увеличение микроскопа МИМ-7
и оптические данные объективов и окуляров

Объективы	Окуляры	Общее увеличение*			
F	A	7	10	15	K20
23,2	0,17	(60)	90	130	170
13,89	0,30	(100)	140	200	300
8,16	0,37	170	240	360	500
6,16	0,65	(250)	320	50	(650)
2,77	1,25	500	720	1080	(1440)

П р и м е ч а н и е . Увеличения, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

Объектив $F=2,77$, $A=1,25$ иммерсионный, т.е. при работе с ним на фронтальную линзу следует нанести каплю иммерсионного масла, имеющего показатель преломления $n > 1$.

2.4. Исследование микроструктуры нетравленного шлифа

Определить балл неметаллических включений в стали (по оксидам) можно согласно ГОСТ 1778-70.

При выполнении этого исследования целесообразно начинать с рассмотрения микрошлифа в нетравленном виде, т.е. после полировки.

Под микроскопом шлиф имеет вид светлого круга с темными точечными или строчечными участками неметаллических включений.

Определять степень загрязненности металла неметаллическими включениями очень важно, так как они хрупки и непрочны, а значит, снижают механические свойства стали.

При производстве некоторых сортов качественной и высококачественной стали количество неметаллических включений регламентируется. Так, например, для шарикоподшипниковой стали чистота по неметаллическим включениям является одним из основных факторов, определяющих эксплуатационную стойкость изделий.

Металлографические методы определения загрязненности стали неметаллическими включениями установлены ГОСТ 1778-70.

Для общей характеристики стали по степени загрязненности ее неметаллическими включениями применяется 5-балльная шкала.

Пятибалльная шкала ГОСТа классифицирует следующие виды неметаллических включений:

- оксиды строчечные – ОС;
- оксиды точечные – ОТ;
- силикаты хрупкие – СХ;
- силикаты пластичные – СП;
- силикаты недеформирующиеся – СН;
- сульфиды – С;
- нитриды и карбонитриды строчечные – НС;
- нитриды и карбонитриды точечные – НТ;
- нитриды алюминия – НА.

Чаще всего наблюдается загрязнение стали оксидами и сульфидами. Одним из методов испытания (метод III) является оценка неметаллических включений под микроскопом в сравнении с эталонными шкалами нетравленных шлифов при увеличении 100.

На рис. 2.7 приведена эталонная шкала сульфидов и оксидов согласно ГОСТ 1778-70.

Настройте микроскоп и, рассмотрев микроструктуру стали при увеличении 90...100, оцените балл неметаллических включений. Сделайте заключение о качестве стали по загрязненности неметаллическими включениями.

Балл	Оксиды		Сульфиды	
	мелкие	крупные	мелкие	крупные
1				
2				
3				
4				
5				

Рис. 2.7. Шкала для оценки неметаллических включений

2.5. Исследование микроструктуры стали после травления шлифа

Установить номер зерна по стандартной шкале ГОСТ 5639-65.

После травления микрошлифа выявляется структура, свойственная данному металлу. Можно определить характер и количество различных фаз и структурных составляющих сплава, а также размер действительного зерна.

При определении величины зерна применяется или непосредственное его измерение, или метод сравнения с установленной стандартной шкалой баллов.

Методы выявления и определения величины зерна установлены ГОСТ 5639-65. Для общей характеристики стали по размеру зерна применяется 14-балльная шкала. Определение величины зерна по стандартной шкале

производится сравнением размера зерен, видимых под микроскопом при увеличении в 100 раз, с эталонной шкалой по ГОСТ 5639-65 (рис. 2.8).

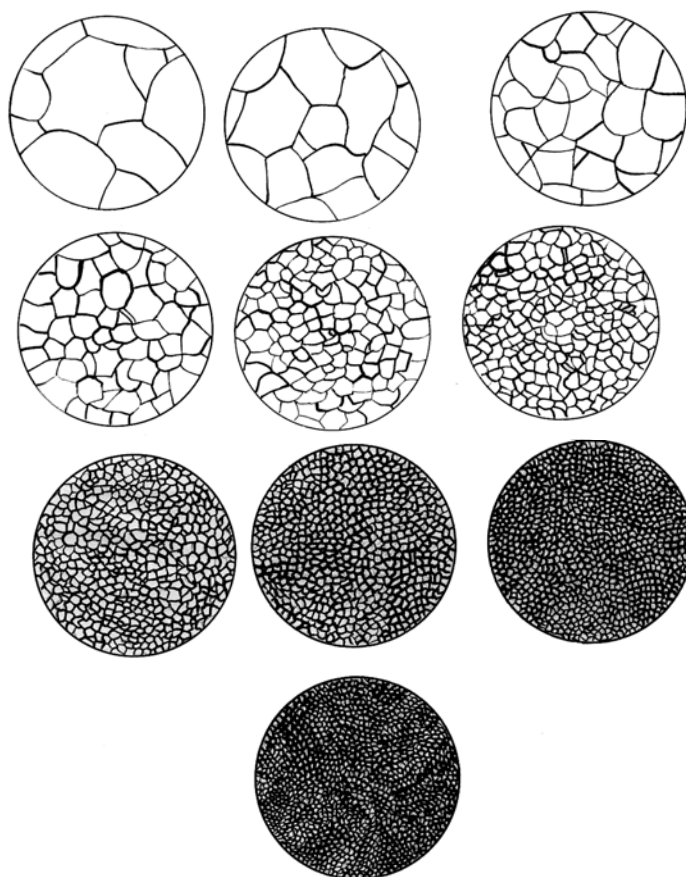


Рис. 2.8. Шкала для оценки величины зерна

Зерна первого ряда являются крупными, зерна третьего ряда – мелкими. Зависимость между номером и истинными размерами зерна указана в табл. 2.2.

Настройте микроскоп и, рассмотрев микроструктуру стали при увеличении 90...100 раз, установите номер зерна по стандартной шкале ГОСТ 5639-65 и параметры структуры по табл. 2.2. Сделайте заключение о качестве стали по размеру зерна.

Т а б л и ц а 2.2

Характеристика (параметры) структуры с разной величиной баллов

Номер зерна	Площадь зерна, мм ² (средняя)	Количество зерен на площади 1 мм ² (среднее)	Среднее количество зерен в 1 мм ³	Средний условный диаметр зерна, мм
1	2	3	4	5
-3	1,024	1	1	0,875
-2	0,512	2	2,7	0,650
-1	0,256	4	8	0,444
0	0,128	8	21	0,313
1	0,064	16	64	0,222

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5
2	0,032	32	179	0,167
3	0,016	64	512	0,111
4	0,008	128	1446	0,0788
5	0,004	256	4096	0,0553
6	0,002	512	11417	0,0391
7	0,001	1024	32768	0,0267
8	0,0005	2048	92160	0,0196
9	0,00025	4096	262122	0,0138
10	0,000125	8192	737280	0,0099
11	0,000062	16384	2097152	0,0069
12	0,000031	31768	5980808	0,0049
13	0,000016	65536	16777216	0,0032
14	0,000008	131072	47448064	0,0023

Содержание отчета

1. Цель исследования.
2. Основные положения: сущность и задачи микроанализа, приготовление микрошлифа, схема хода лучей в металлографическом микроскопе, оптические данные объективов и окуляров. Оценка загрязненности металла неметаллическими включениями. Определение размера зерна.
3. Методика исследования.
4. Обработка результатов.
5. Зарисовка микроструктуры стали нетравленного шлифа с указанием балла неметаллических включений. Заключение о качестве стали.
6. Зарисовка микроструктуры стали по шлифу после травления с указанием номера зерна по стандартной шкале и параметров структуры. Заключение о качестве стали.
7. Выводы из полученных результатов

Контрольные вопросы

1. Как приготовить микрошлиф для исследований?
2. Как определяется увеличение на оптическом металлографическом микроскопе?
3. Какие неметаллические включения типичны для стали?

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

При проектировании, изготовлении и эксплуатации металлических конструкций и различных металлических изделий требуются знания механических свойств металлов и сплавов. Характеристики механических свойств даются заводом-поставщиком. По этим характеристикам потребитель определяет пригодность металла для конкретных условий работы.

Механические свойства металлов характеризуют поведение металла при воздействии на него внешних сил (нагрузок) и зависят от многих факторов: химического состава, структуры, наличия посторонних включений и дефектов (трещины, поры и т.д.), условий нагружения. Механические свойства металлов оценивают при помощи основных характеристик: временного сопротивления (предел прочности), предела текучести, истинного сопротивления разрыву, относительного удлинения или сужения, ударной вязкости, предела выносливости, твердости. Измерение твердости очень распространенный вид механического испытания металлов и широко используется как в промышленности, так и в научных исследованиях. Твердость металлов измеряется значительно чаще, чем все остальные механические свойства ввиду следующих преимуществ:

- измерение твердости по технике выполнения значительно проще, чем определение прочности, пластичности, ударной вязкости;
- измерение твердости обычно не влечет за собой разрушение проверяемой детали, и после измерения ее можно использовать по своему назначению;
- твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях металла (десятые доли миллиметра) и даже в микрообъемах (зерно, структурные составляющие, фазы).

Для обеспечения сопоставимости результатов методы измерения твердости регламентируются ГОСТами.

Методические указания позволяют ознакомиться с основными стандартными методами измерения твердости металлов.

Цели и задачи работы: изучить устройство приборов и методику измерения твердости металлов способами Бринелля, Роквелла, Виккерса; определить твердость на приборе Бринелля образцов из углеродистых сталей после отжига; установить зависимость твердости и предела прочности стали от процентного содержания углерода.

3.1. Твердость металлов. Общие сведения

Твердость измеряют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника, имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы. Наконечник (индентор) изготавливается из малодеформирующегося материала – твердая закаленная сталь, алмаз или твердый сплав. По характеру воздействия наконечника на металл различают несколько методов измерения твердости: вдавливанием наконечника (метод вдавливания), царапанием поверхности (метод царапания), ударом или же по отскоку наконечника – шарика. Твердость, определенная по методу царапания, характеризует сопротивление разрушению; твердость, определенная по отскоку, – упругие свойства; твердость, определенная вдавливанием, – сопротивление пластической деформации.

Наибольшее применение для металлов и сплавов получило измерение твердости вдавливанием, поэтому твердости в этом случае дается следующее определение: *твердость* – это свойство металла оказывать сопротивление пластической деформации при контактном приложении нагрузки. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным металлом. Поэтому при измерении твердости вдавливанием деформацию испытывают не только пластичные, но и непластичные металлы (чугун), которые при обычных механических испытаниях (растяжении, сжатии, кручении, изгибе) разрушаются хрупко, почти без макроскопически заметной пластической деформации. Следовательно, твердость характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла, отличающееся от других его механических свойств методом измерения.

3.2. Методы измерения твердости металлов

Существуют следующие основные методы измерения твердости вдавливанием:

- вдавливание стального шарика с определением твердости по величине поверхности оставляемого отпечатка;
- вдавливание алмазного конуса (или стального шарика) с определением твердости по глубине получаемого отпечатка;
- вдавливание алмазной пирамиды с определением твердости по величине поверхности получаемого отпечатка.

3.2.1. Метод Бринелля

Метод измерения твердости по Бринеллю регламентируется ГОСТ 9012-59. Твердость металла определяется вдавливанием в испытуемый образец (изделие) закаленного стального шарика диаметром 10; 5; 2,5 мм (рис. 3.1) и выражается числом твердости HB , полученным путем деления приложенной нагрузки P в Н на поверхность образовавшегося на образце отпечатка шарика F (шарового сегмента).

Число твердости HB :

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (3.1)$$

где P – нагрузка на шарик, Н; F – поверхность отпечатка, мм².

Поверхность шарового сегмента F :

$$F = \frac{\pi D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right), \quad (3.2)$$

где D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

Тогда формула (3.1) примет вид:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}. \quad (3.3)$$

Таким образом, по формуле (3.3) можно определить числа твердости по Бринеллю HB . Однако этих вычислений каждый раз не делают, а определяют твердость по таблице (табл. 3.1), составленной на основании формулы (3.3).

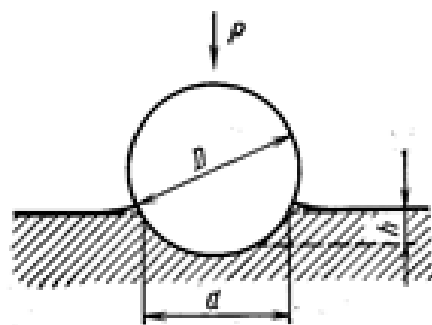


Рис. 3.1. Схема получения отпечатка по Бринеллю:
 D – диаметр шарика; P – нагрузка; d – диаметр отпечатка; h – глубина вдавливания

Т а б л и ц а 3.1

Определение чисел твердости по Бринеллю

Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$, мм	Число твердости HB при нагрузке P , Н			Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$, мм	Число твердости HB при нагрузке P , Н		
	$300D$	$100D$	$25D$		$300D$	$100D$	$25D$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,90	4440	-	-	4,50	1790	595	149
2,95	4290	-	-	4,55	1740	581	145
3,00	4150	-	346	4,60	1700	568	142
3,05	4010	-	334	4,65	1670	555	139
3,10	3880	1290	323	4,70	1630	543	136
3,15	3750	1250	313	4,75	1590	530	133

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3,20	3630	1210	303	4,80	1560	519	130
3,25	3520	1170	293	4,85	1520	507	127
3,30	3410	1140	284	4,90	1490	496	124
3,35	3310	1100	276	4,95	1460	486	122
3,40	3210	1070	267	5,00	1430	475	119
3,45	3110	1040	259	5,05	1400	465	116
3,50	3020	1010	252	5,10	1370	455	114
3,55	2930	977	245	5,15	1340	446	112
3,60	2850	950	237	5,20	1310	437	109
3,65	2770	923	231	5,25	1280	428	107
3,70	2690	897	224	5,30	1260	419	105
3,75	2620	872	218	5,35	1230	4102	103
3,80	2550	849	212	5,40	1210	402	101
3,85	2480	826	207	5,45	1180	394	98,6
3,90	2410	804	201	5,50	1160	386	96,6
3,95	2350	783	196	5,55	1140	379	94,6
4,00	2290	763	191	5,60	1110	371	92,7
4,05	2230	743	186	5,65	1090	364	91,0
4,10	2170	724	181	5,70	1070	357	89,3
4,15	2120	706	176	5,75	1050	350	87,6
4,20	2070	688	172	5,80	1030	343	85,9
4,25	2010	671	168	5,85	1010	337	84,3
4,30	1970	655	164	5,90	992	331	82,6
4,35	1920	639	160	6,00	955	318	79,6
4,40	1870	624	156	6,10	930	305	76,5
4,45	1830	609	152	6,20	915	290	73,4

При определении твердости по методу Бринелля диаметр шарика подбирают в зависимости от толщины испытуемого образца металла, а принимаемую нагрузку – в зависимости от твердости испытуемого материала (табл. 3.2).

Т а б л и ц а 3.2

Выбор диаметра шарика и нагрузки в зависимости от твердости и толщины испытуемого образца

Материал	Пределы измерения в единицах твердости по Бринеллю, МПа	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой P и диаметром шарика D	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , Н	Выдержка под нагрузкой, с
1	2	3	4	5	6	7
Черные металлы	1400...4500	6...3 4...2 <2	$P=300D^2$	10,0 5,0 2,5	30000 7500 1875	10
	<1400	>6 6...3 <3	$P=100D^2$	10,0 5,0 2,5	10000 2500 625	10

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Цветные металлы	>1300	6...3 4...2 <2	$P = 300D^2$	10,0 5,0 2,5	30000 7500 1875	30
	350...1300	9...3 6...3 <3	$P = 100D^2$	10,0 5,0 2,5	10000 2500 625	30
	80...350	>6 6...3 <3	$P = 25D^2$	10,0 5,0 2,5	2500 620 150	60

Метод Бринелля применим только при *HB4500* и толщине испытуемого образца не менее 0,5...1,00 мм.

Устройство и принцип работы прессы Бринелля

Пресс Бринелля представляет собой литую чугунную станину, на которой смонтированы все его механизмы (рис. 3.2).

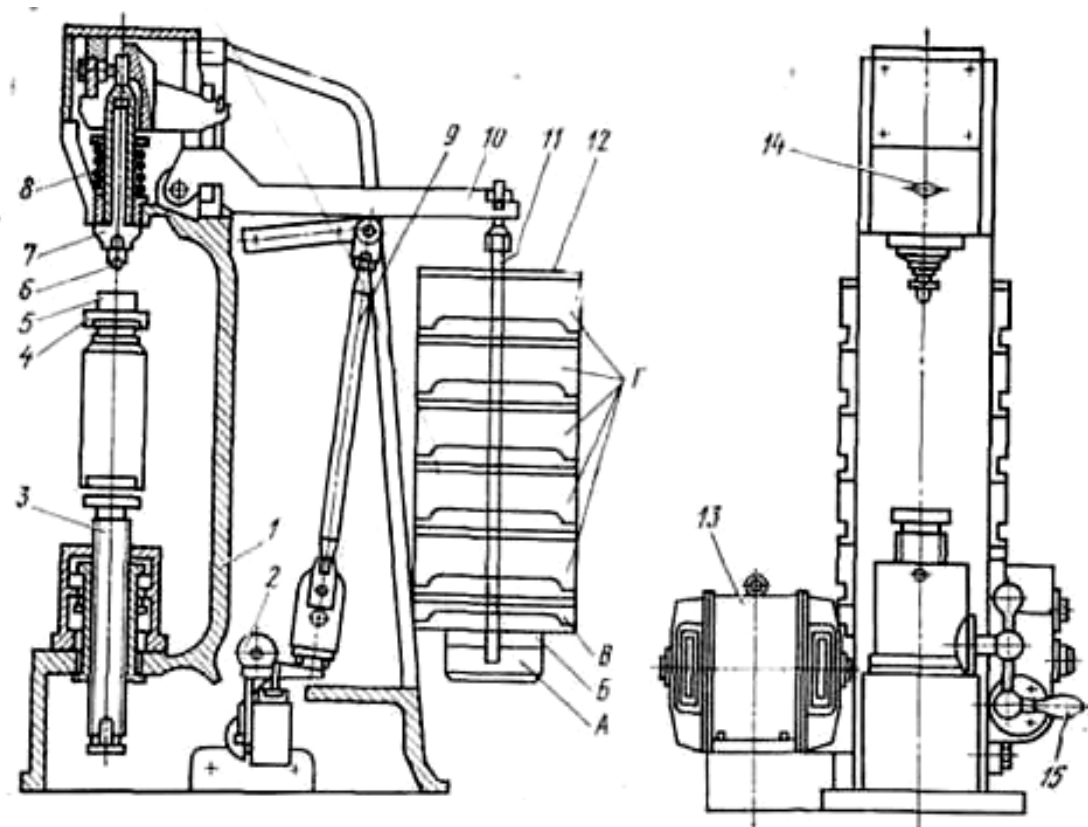


Рис. 3.2. Схема автоматического рычажного прессы для определения твердости:
1 – станина; 2 – вращающийся эксцентрик; 3 – винт; 4 – столик; 5 – испытуемый образец; 6 – наконечник с шариком; 7 – шпиндель; 8 – пружина; 9 – шатун;
10 – рычаг; 11 – подвеска; 12 – груз; 13 – электродвигатель; 14 – указатель;
15 – рукоятка

В верхней части станины 1 имеется шпиндель 7, в который вставляется наконечник с шариком 6. Может быть установлен один из трех наконечников – с шариком диаметром 10, 5 или 2,5 мм. Столик 4 служит для установки на нем испытываемого образца 5. Вращением по часовой стрелке рукоятки 15 приводят в движение винт 3, который, перемещаясь вверх, поднимает столик 4, и образец 5 прижимается к шарiku 6. При вращении рукоятки 15 до тех пор, пока указатель 14 не станет против риски, пружина 8 сжимается до отказа и создается предварительная нагрузка 1000 Н (100 кгс). Электродвигатель 13, который включается нажатием кнопки, расположенной сбоку пресса, приводит во вращение эксцентрик 2. При вращении эксцентрика 2 шатун 9, перемещаясь вниз, отпускает рычаг 10 и соединенную с ним подвеску 11 с грузами 12, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливается в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика 2 шатун 9 перемещается вверх, поднимает рычаг 10 и подвеску 11 с грузами 12, снимая этим нагрузку с шарика. Когда рычаг и подвеска с грузами достигнут исходного положения, автоматически дается сигнал звонком и выключается электродвигатель. Вращением рукоятки 15 против часовой стрелки опускают столик 4. В зависимости от грузов, установленных на подвеске 11, создается различная нагрузка. На приборе Бринелля можно измерять твердость до 450 кгс/мм². Если твердость больше приведенной величины, то шарик начинает деформироваться и показания прибора становятся неправильными.

Порядок определения твердости

Определение твердости на приборе производят в следующем порядке:

1. В зависимости от материала и толщины образца (изделия) по табл. 3.2 определяют диаметр необходимого для испытания шарика и нагрузку.
2. Поверхность испытываемого образца зачищают напильником.
3. Зачищенный образец устанавливают на столике прибора. Вращением маховика по часовой стрелке образец поднимают к шарiku до упора. В таком положении надетая на шток пружина отжимается и создает предварительную нагрузку, равную 1000 Н.
4. Нажатием на кнопку включают двигатель. При включении электродвигателя нагрузка прикладывается плавно. После приложения нагрузки и заданной выдержки переключатель автоматически изменяет направление вращения электродвигателя. После снятия нагрузки электродвигатель автоматически выключается. Длительность выдержки устанавливается поворотом лимба.
5. Специальной лупой измеряют диаметр отпечатка. Для этого лупа плотно устанавливается над образцом так, чтобы сам отпечаток находился в центре трубы микроскопа. Окрашенный вырез нижней части микроскопа должен быть при измерении обращен к свету.

6. Передвигая микроскоп по образцу, нужно совместить край отпечатка с началом шкалы и прочесть деление шкалы, с которым совпадает диаметрально противоположный край отпечатка (рис. 3.3). За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое результатов измерения в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для получения более достоверного числа твердости испытание повторяют трижды и за результат принимают среднее арифметическое из трех испытаний.

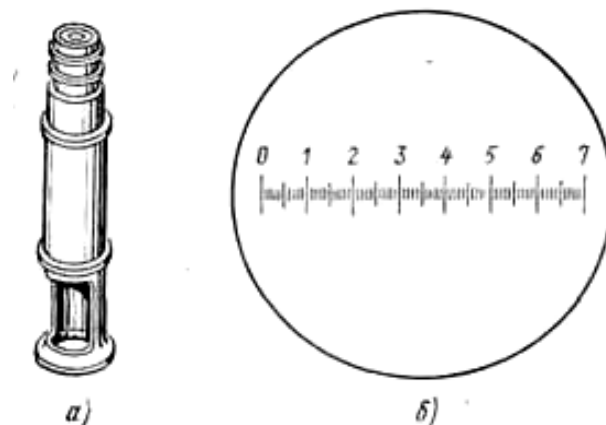


Рис. 3.3. Измерение диаметра отпечатка по шкале лупы

7. Измерив отпечаток шарика, числа твердости *HB* вычисляют по формуле (3.2) или находят по табл. 3.1. При определении твердости шариком диаметром $D=10$ мм под нагрузкой $P=30000$ Н с выдержкой 10 с, перед числом твердости по Бринеллю дописывают только символ *HB*, например, *HB4000*.

При других условиях определения к числу твердости по Бринеллю дописывают индекс, обозначающий эти условия, например, *HB 5/250030-2000* означает число твердости по Бринеллю 2000, полученное при испытании шариком $D=5$ мм под нагрузкой $P=2500$ Н, приложенной в течение 30 с.

Между числами твердости по Бринеллю и пределом прочности металлов существует зависимость:

$$\sigma_b = K \cdot HB, \quad (3.4)$$

где K – коэффициент, определенный опытным путем (табл. 3.3).

Т а б л и ц а 3.3

Значение коэффициентов K для различных материалов

Материал	Значения K
Сталь, <i>HB</i> 1750	0,34
Сталь, <i>HB</i> 1750	0,36
Алюминий оточенный	0,40
Дюралюминий	0,37
Медь холоднокатаная	0,35
Медь отожженная	0,48

Для серого чугуна предел прочности определяется следующим образом:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{HB - 400}{6}. \quad (3.5)$$

3.2.2. Метод Роквелла

Метод измерения твердости по Роквеллу регламентируется ГОСТ 9013.

При определении твердости по методу Бринелля на поверхности испытуемого изделия остаются относительно глубокие отпечатки большого диаметра, что во многих случаях недопустимо.

При испытании же твердости по методу Роквелла на испытуемом изделии остается иголочный след глубиной меньше 0,2 мм и примерно такого же диаметра.

Кроме того, методом Роквелла можно испытывать металл и металлокерамические материалы твердостью до *HB10000*.

Метод Роквелла имеет и другие преимущества: показание твердости можно получить быстро и непосредственно по шкале индикатора, установленного на приборе, причем показание свободно от субъективных ошибок, неизбежных при индивидуальном измерении отпечатка по методу Бринелля, что особенно важно в условиях массового производства.

Однако тонким алмазом нельзя определить твердость структурно неоднородных материалов, например, серого чугуна с включениями мягкого графита. Поэтому прибор Роквелла с алмазом снабжен еще стальным закаленным шариком диаметром 1,58 мм, предназначенным для определения твердости подобных или относительно мягких металлов, в которых алмаз слишком глубоко проникает в образец, и результаты измерения получаются неточными.

Измерение твердости металлов по Роквеллу заключается во вдавливании в испытуемое изделие или образец алмазного конуса или стального шарика под определенной нагрузкой (*P*) и в небольшой выдержке под нагрузкой (рис. 3.5).

Применяемые при испытании нагрузки различны и определяются твердостью металлов:

- мягкие металлы твердостью *HB600...HB2300* испытываются при нагрузке 1000 Н (измерение производится стальным шариком);
- металлы твердостью *HB2300...HB7000* испытываются при нагрузке 1500 Н (измерение производится алмазным конусом);
- металлы твердостью свыше *HB7000* испытываются при нагрузке 600Н (измерение производится алмазным конусом).

Указанные нагрузки прилагаются к образцу последовательно в два приема. Сначала накладывают предварительную нагрузку $P_0=100$ Н. При этом алмазный конус проникает в металл на глубину h_0 . Предварительная

нагрузка предназначена для компенсации упругих деформаций прибора и испытуемого изделия или образца, которые влияют на показания прибора. Затем прилагают полную нагрузку P , состоящую из предварительной в 100 Н и основной P_1 ($P=P_0+P_1$). Таким образом, полная нагрузка составляет 600, 1000 или 1500 Н. При полной нагрузке алмазный конус проникает в металл на глубину h . Стрелка индикатора прибора, находящегося под полной нагрузкой, показывает разность глубин проникновения алмазного конуса (или шарика) в металл, т.е. $h-h_0$, а после снятия основной нагрузки показывает твердость испытуемого металла по соответствующей шкале. В зависимости от нагрузок индикатор прибора имеет разные шкалы (рис. 3.6). Внутренняя, красного цвета (В), используется при испытании шариком, твердость по этой шкале обозначается HRB (нагрузка 1000 Н); наружная, черного цвета (С), совмещена со шкалой (А) и используется при испытании алмазным конусом, твердость по этой шкале обозначается либо HRC (нагрузка 1500 Н), либо HRA (нагрузка 600 Н).

Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах и число твердости является отвлеченным. Например, $HRC50$ означает твердость 50 единиц по шкале С. За единицу твердости принято внедрение в испытуемый образец алмазного конуса или шарика на глубину 0,002 мм.

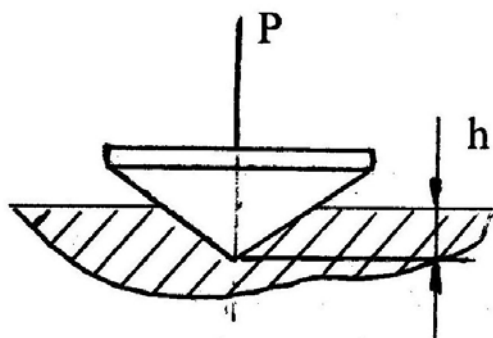


Рис. 3.5. Схема получения отпечатка по Роквеллу: h – глубина отпечатка

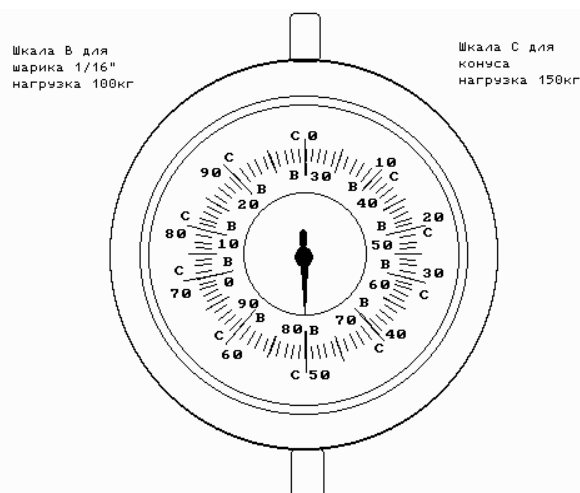


Рис. 3.6. Шкала индикатора прибора Роквелла

Схема прибора Роквелла показана на рис. 3.7.

Шпиндель 1 прибора служит для закрепления на его конце с помощью винта 4 оправки 5 с шариком или алмазным (или из твердого сплава) конусом. Постоянный груз 17 создает нагрузку 500 Н, если на постоянный груз 17 установлен груз 18 (400 Н), то создается нагрузка 900 Н, а если установлен груз 18 и груз 19 (500 Н), то нагрузка 1400 Н.

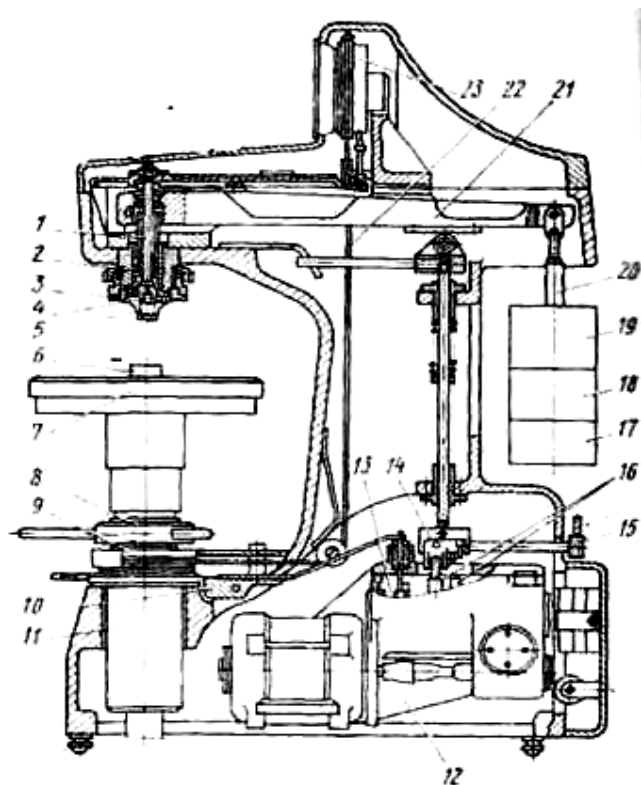


Рис. 3.7. Схема прибора ТК-2:

1 – шпатель; 2 – пружина; 3 – ограничительный чехол; 4, 11 – винт;
 5 – оправка; 6 – испытуемый образец; 7 – стол; 8 – маховик; 9 – барабан;
 10 – клавиша, приводящая в действие кулачковый блок; 12 – привод; 13 – тумблер;
 14 – шток; 15 – рукоятка; 16 – кулачковый блок; 17 – постоянный груз;
 18, 19 – дополнительный груз; 20 – полвеска; 21 – грузовой рычаг; 22 – тросик;
 23 – индикатор

Стол 7 служит для установки на нем испытываемого образца 6. При вращении по часовой стрелке маховика 8 приводится во вращение винт 11, который, перемещаясь вверх, поднимает стол 7, и образец 6 подводится к оправке 5 с шариком или алмазным конусом. При дальнейшем вращении маховика 8 сжимается пружина 2, шарик или алмазный конус начинает внедряться в испытуемый образец 6, а стрелки поворачиваются по шкале индикатора 23. При вращении маховика 8 до тех пор, пока образец не упрется в ограничительный чехол 3, малая стрелка 1 (см. рис. 3.8, а) индикатора дойдет до красной точки 2, а большая стрелка 3 установится (с погрешностью ± 5 делений) приблизительно в вертикальном положении (см. рис. 3.8, б), создается предварительная нагрузка 100 Н. Точную установку шкалы индикатора на нуль (см. рис. 3.8, в) производят при помощи барабана 9 (см. рис. 3.7) тросиком 22, закрепленным на ранте индикатора.

Циферблат индикатора имеет две шкалы – черную (С) и красную (В). Независимо от того, что вдавливается в испытуемый образец – алмазный конус или шарик, с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы со значком «С». Большую стрелку с нулевым штрихом красной шкалы со значком «В» не совмещают ни в каком случае.

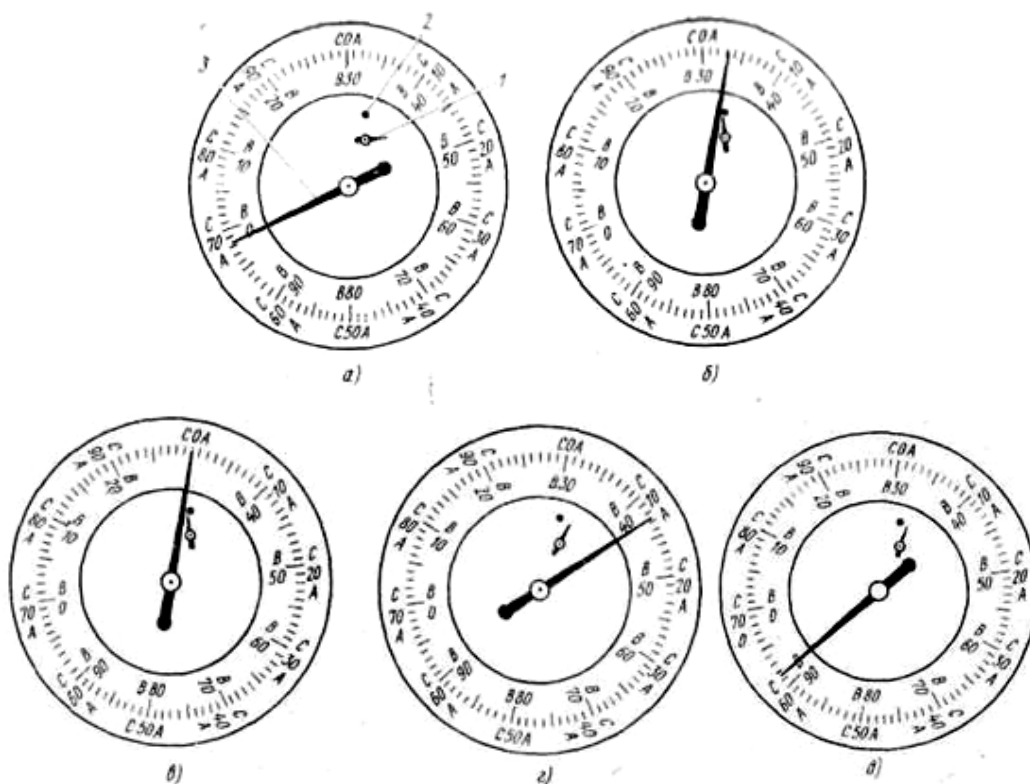


Рис. 3.8. Последовательное перемещение стрелок на циферблате прибора ТК-2 при вдавливании алмазного конуса

Приведение в действие основной нагрузки осуществляется с помощью привода 12 от электродвигателя, работающего непрерывно и отключаемого с помощью тумблера 13 только при длительных перерывах в работе прибора.

Нажатием клавиши 10 приводят в действие кулачковый блок 16 механизма привода 12, передача от которого к грузовому рычагу 21 осуществляется с помощью штока 14. При этом подвеска 20 с грузами 17...19 опускается, и этим обеспечивается действие основной нагрузки и создается общая нагрузка (предварительная + основная).

Под действием основной нагрузки шарик или алмазный конус все глубже проникает в испытуемый образец, при этом большая стрелка индикатора поворачивается против часовой стрелки (см. рис. 3.8, г). После окончания вдавливания основная нагрузка, действовавшая на образец, автоматически снимается и остается предварительная нагрузка. При этом большая стрелка индикатора перемещается по часовой стрелке и указывает на шкале индикатора число твердости по Роквеллу (см. рис. 3.8, д). При испытании алмазным конусом под нагрузкой 1500 или 600 Н отсчет производят по черной шкале, а при испытании шариком под нагрузкой 1000 Н – по красной шкале.

Но в окончании цикла испытания кулачковый блок автоматически отключается и фиксируется в исходном положении. Нормальная продолжительность цикла испытания 4 с (при положении рукоятки 15 указателя про-

тив буквы Н). Ускоренный цикл испытания 2 с (при положении рукоятки указателя против буквы У).

При вращении маховика 8 против часовой стрелки стол 7 опускается, и образец 6 освобождается от действия предварительной нагрузки.

Порядок проведения испытания на приборе Роквелла

1. Установить на приборе грузы, сменный столик и наконечник в соответствии с характером и формой подлежащего испытанию изделия или образца. При испытании по шкале А груз на подвеску не устанавливать, так как сама подвеска с рычагами дает основную нагрузку в 600 Н.

2. Установить изделие или образец на сменный столик, обеспечив плотное их прилегание. Образец вытереть насухо.

3. Вращением маховичка довести испытываемую поверхность до соприкосновения с наконечником. Продолжить (вращением маховичка) подъем столика до тех пор, пока малая стрелка индикатора не встанет против красной точки индикатора, а большая стрелка не примет вертикальное положение с допустимым отклонением 5 делений.

4. Вращением ободка индикатора подвести к большой стрелке нуль черной шкалы или цифру 30 красной шкалы.

5. Легким движением руки нажать на рукоятку и предоставить рычагу возможность опуститься: время выдержки под полной нагрузкой должно составить 1...3 с. При испытании высокопластичных металлов время выдержки может составить 10, 30 или 60 с.

6. Записать показание индикатора по соответствующей шкале твердости.

7. Повторить испытание еще раз на другом участке образца и записать показания.

8. Вращая маховичок, опустить столик и снять образец.

3.2.3. Метод Виккерса

Метод измерения твердости по Виккерсу регламентируется ГОСТ 9013-59.

Этот метод применяют преимущественно для образцов малых сечений и для измерения твердости в таких поверхностных слоях, твердость которых отличается от твердости основной массы металлического изделия. Это, как правило, поверхностные слои, упрочненные термической или химико-термической обработкой с целью повышения износоустойчивости изделия в период эксплуатации.

Твердость испытывают вдавливанием алмазной пирамиды в испытуемый образец под нагрузкой от 50 до 1200 Н, приложенной в течение определенного времени, с последующим измерением диагоналей отпечатка специальным микроскопом, которым снабжен прибор (рис. 3.9). При одной

и той же нагрузке число твердости HB определяют по таблицам в зависимости от размера диагонали отпечатка.

Значение твердости можно рассчитать по формуле

$$HB = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}, \quad (3.6)$$

где P – нагрузка на пирамиду, Н; α – угол между противоположными гранями пирамиды, равный 136° ; d – среднее арифметическое значение длин диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

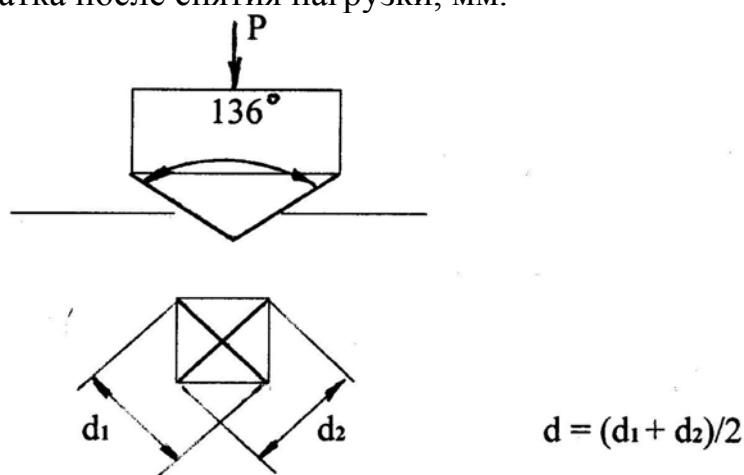


Рис. 3.9. Схема получения отпечатка по Виккерсу:
 d – диагональ отпечатка; α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136°

Числа твердости по Виккерсу и Бринеллю имеют одинаковую размерность (МПа) и для материалов с поверхностью до $HB4500$ практически совпадают.

Вместе с тем измерения пирамидой дают более точные значения для материалов с высокой твердостью, чем измерения шариком или конусом. Алмазная пирамида имеет больший угол в вершине и диагональ ее отпечатка примерно в 7 раз больше глубины отпечатка, что повышает точность измерения отпечатка даже при проникновении пирамиды на небольшую глубину.

3.2.4. Измерение микротвердости

Метод измерения микротвердости регламентируется ГОСТ 9450-76. Испытание на микротвердость проводят вдавливанием в испытываемый образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине 136° , таким же, как у пирамиды при испытании по Виккерсу. Отличительной особенностью испытания на микротвердость является применение малых нагрузок – от 0,05 до 5 Н, поэтому основной областью использования данного метода является определение твердости таких образцов и деталей, ко-

которые не могут быть испытаны обычно применяемыми методами (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу). Микротвердость обычно определяют на малых деталях, тонких полуфабрикатах (ленты, фольга, проволока), в слоях, получающихся в результате химико-термической обработки, гальванических покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов.

Число твердости определяют по специальным таблицам, рассчитанным на нагрузки 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5 Н.

Например, если длина диагонали полученного отпечатка 40 мкм была получена при нагрузке 1 Н, то для данной диагонали отпечатка число твердости (в МПа) *HB1220*.

Значения твердости, полученные при одном способе измерения, могут быть переведены по специальным таблицам в значения твердости, полученные другим способом измерения (табл. 3.4).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой и устройством твердомеров Бринелля, Роквелла и Виккерса.

2. Заполнить табл. 3.5.

3. Измерить твердость на приборе Бринелля четырех образцов из углеродистых сталей с разным содержанием углерода. Образцы выдает преподаватель, он же указывает содержание углерода в исследуемых образцах. Полученную твердость по Бринеллю перевести по табл. 3.4 в твердость по Роквеллу по шкале *C* или *B*. Полученные данные занести в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.4

Соотношение чисел твердости по Бринеллю и Роквеллу

Твердость по Бринеллю* HB	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю HB	Твердость по Роквеллу		
	HRC	HRB	HRA		HRC	HRB	HRA
1	2	3	4	5	6	7	8
7800	72	-	84	2070	14	95	59
7120	68	-	82	1970	12	93	58
6530	64	-	80	1870	9	91	57
6010	60	-	78	1790	7	90	56
5550	56	-	77	1700	4	88	55
5140	52	-	75	1630	2	86	53
4770	49	-	74	1560	0	84	52
4440	4	-	73	1490	-	82	-
4150	43	-	72	1430	-	80	-
3880	41	-	71	1370	-	78	-
3630	39	-	70	1310	-	76	-
3410	36	-	68	1260	-	74	-
3210	33	-	67	1210	-	72	-

Окончание табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
3020	31	-	66	1160	-	70	-
2850	29	-	65	1110	-	67	-
2690	27	-	64	1070	-	65	-
2550	25	-	63	1030	-	57	-
2410	23	102	62	992	-	94	-
2290	20	100	61				
2117	17	98	60				

*Диаметр шарика 10 мм, нагрузка 30000Н; размерность твердости в МПа.

Таблица 3.5

Характерные особенности методов определения твердости

Особенности каждого метода	Методы определения твердости по				
	Бринеллю	Роквеллу			Виккерсу
		шкала В	шкала С	шкала А	
Способ нагружения					
Индентор (материал, размер, форма)					
Величина нагрузки, Н					
Обозначение твердости					
Область применения					

Таблица 3.6

Результаты измерения твердости

№ п/п	Исследуемый материал	% С	d отпечатка, мм	HV	HRC HRB	σ_s , МПа
1						
2						
3						
4						

4. Пользуясь уравнением (3.4) и табл. 3.3, определить пределы прочности исследуемых сталей. Полученные данные занести в табл. 3.6.

5. Построить график зависимости твердости HV и предела прочности σ_B от процентного содержания углерода в сталях, откладывая по оси ординат твердость по Бринеллю (HV) и предел прочности (σ_B), а по оси абсцисс процентное содержание углерода. Сделать вывод о полученной зависимости.

6. Измерить твердость по Бринеллю образца, вырезанного из неизвестной марки углеродистой стали после отжига. По графику определить про-

центное содержание углерода в стали, а, следовательно, и марку стали. Для контрольного образца определить примерный предел прочности. Записать полученные результаты в табл. 3.6.

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. В каких единицах измеряется твердость?
3. В чем сущность метода Роквелла?
4. В чем сущность метода Бринелля?
5. В чем сущность метода Виккерса?
6. Что означает твердость *HRC60*?
7. В каких случаях применяется метод Роквелла?
8. Какие преимущества имеет метод Роквелла по сравнению с методом Бринелля?

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СТАЛИ

Цель работы – изучить методику проведения испытания стали на ударную вязкость.

Часто в процессе эксплуатации металлические изделия работают в условиях не только статических, плавно возрастающих нагрузок, но и динамических (ударных) нагрузок, действующих короткое время и возрастающих практически мгновенно. Поскольку работа в условиях ударных нагрузок сопряжена с опасностью разрушения металла, при выборе материала целесообразно иметь представление о его способности противодействовать таким нагрузкам. Испытания на ударный изгиб позволяют установить ряд важнейших свойств металлов: способность выдерживать ударные нагрузки, склонность к хрупкому разрушению, чувствительность к надрезам.

Ударные испытания проводят путем разрушения стандартного образца квадратного сечения (рис. 4.1) одним ударом маятникового копра. Посередине длины образца имеется надрез *U*-образной формы шириной и глубиной 2 мм, с радиусом закругления 1 мм. Могут также применяться образцы с *V*-образной и *T*-образной формами надреза. *V*-образный надрез выполняют с углом при вершине 45° , *T*-образный надрез – наиболее острый. Надрез является концентратором напряжений.

Схема испытания стали на ударный изгиб приведена на рис. 4.2.

При положении тумблера на панели управления копром «вверх» и установке давления сжатого воздуха на манометре $0,25 \dots 0,3$ МПа пневматический механизм начинает подъем вокруг оси 0. Электромагнитная защелка предназначена для удерживания маятника, который поднят на угол зарядки λ , в исходном положении перед началом испытаний. Кроме того, механизм подъема автоматически производит остановку маятника после разрушения образца и возврат его в исходное положение. При нажатии кнопки «Удар» маятник освобождается путем втягивания электромагнитной защелки 7, удерживающей молот 3, и падает с некоторой высоты H , определяемой углом зарядки λ .

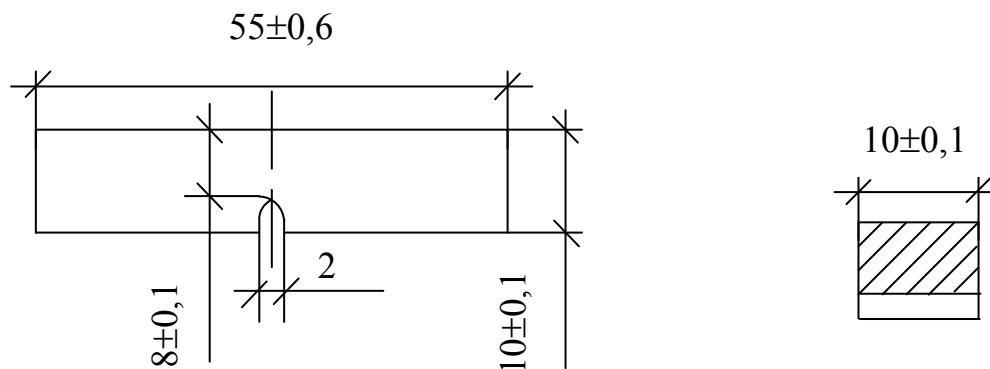


Рис. 4.1. Стандартный образец

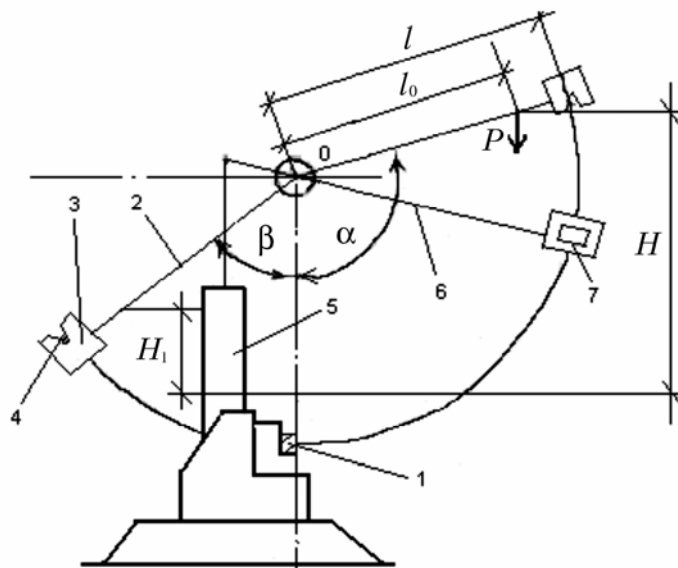


Рис. 4.2. Схема испытания стали на ударный изгиб:

1 — испытываемый образец; 2 — штанга; 3 — молот; 4 — нож бойка;
5 — пневмоцилиндр; 6 — стрела копра; 7 — электромагнитная защелка

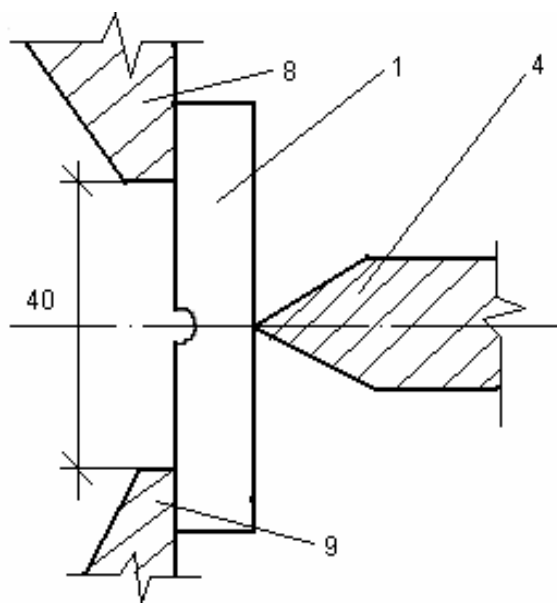


Рис. 4.3. Расположение образца на опорах:

1 — испытываемый образец;
4 — нож бойка; 8, 9 — опоры

На рис. 4.3 показано положение образца на опорах. Падая, нож маятника изгибает и ломает образец, установленный на пути падения маятника, на две опоры 8 и 9 станины копра. Образец устанавливают надрезом в сторону, противоположную удару ножа молота маятника. После разрушения образца маятник посредством механизма подъема автоматически возвращается в исходное положение.

Испытание на маятниковом копре основано на принципе измерения энергии, затраченной на разрушение образца.

Маятник массой m , поднятый на угол λ и имеющий высоту центра тяжести H , будет обладать запасом энергии, равным E .

После свободного падения и встречи с образцом маятник, затратив на разрушение образца часть запасенной энергии, поднимется, например, на угол β , при котором его центр тяжести займет высоту H_1 . Закрепленные на оси маятника рабочая и контрольная стрелки аналогового устройства, а также растровая маска цифрового устройства при подъеме маятника после разрушения образца повернутся на угол β пропорционально высоте H_1 .

Если при движении на пути маятника не встретится препятствие, то после свободного падения маятник поднимется на ту же высоту.

Работу (или энергию), затраченную на разрушение образца, определяют как разность запасов энергии маятника до и после удара по формуле

$$A = mg(H - H_1) = mgl_0(\cos\beta - \cos\lambda),$$

где A – работа (или энергия), затраченная на разрушение образца, Дж; m – масса маятника, кг; g – ускорение свободного падения, мс^{-2} ; H – высота центра тяжести маятника относительно точки встречи бойка с образцом до удара, м; H_1 – высота центра тяжести маятника относительно точки встречи бойка с образцом после удара, м; l_0 – расстояние от оси качения маятника до центра тяжести, м; λ – угол зарядки маятника, град; β – угол подъема маятника после разрушения образца, град.

Величина затраченной на разрушение образца энергии (или работы), Дж, определяется либо по положению контрольной стрелки аналогового отсчетного устройства, либо по табло цифрового отсчетного устройства.

Основной характеристикой, устанавливаемой в результате ударных испытаний, является ударная вязкость, обозначаемая a_n .

Ударная вязкость a_n (или KC) – это работа, МДж/м^2 , затраченная на ударный изгиб образца и отнесенная к площади поперечного сечения образца в месте надреза:

$$a_n = \frac{A}{F}.$$

При записи ударной вязкости приводится третья буква, обозначающая форму надреза на образце: U , V , T . Так, например, запись KCT означает ударную вязкость образца с T -образным надрезом.

Ударная вязкость является интегральной характеристикой, включает работу зарождения трещины a_3 и работу распространения вязкой трещины a_p :

$$a_n = a_3 + a_p.$$

Склонность к хрупкому разрушению в первую очередь определяется работой распространения трещины. Чем больше a_p , тем меньше возможность внезапного хрупкого разрушения.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства можно установить при испытании стали на ударный изгиб?
2. Охарактеризуйте формы надреза на образце.
3. Что такое ударная вязкость?
4. Какие размеры имеет стандартный образец для испытания стали на ударный изгиб?
5. На каком принципе основано испытание стали на маятниковом копре?

Лабораторная работа №5 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ

5.1. Основные понятия в теории сплавов

Система – группа тел, выделяемых для наблюдения и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе. Если вариантность $C=1$ (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах без изменения числа фаз. Если вариантность $C=0$ (нонвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе. Существует математическая связь между числом компонентов (K), числом фаз (Φ) и вариантностью системы (C). Это правило фаз или закон Гиббса:

$$C = K - \Phi + 2.$$

Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится:

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

где C – число степеней свободы; K – число компонентов; Φ – число фаз; 1 – учитывает возможность изменения температуры.

5.2. Диаграмма состояния

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры (рис. 5.1).

На диаграмме состояния представлены устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа. В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

На диаграмме состояния представлены устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа. В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называют *критическими точками*. Некоторые критические точки имеют названия, например, точки, отвечающие началу кристаллизации, называют точками *ликвидус*, а концу кристаллизации – точками *солидус*.

По кривым охлаждения строят диаграмму состава в координатах: по оси абсцисс – концентрация компонентов, по оси ординат – температура.

Шкала концентраций показывает содержание компонента B . Основными линиями являются линии ликвидус (1) и солидус (2), а также линии, соответствующие фазовым превращениям в твердом состоянии (3, 4).

По диаграмме состояния можно определить температуры фазовых превращений, изменение фазового состава, приблизительно, свойства сплава, виды обработки, которые можно применять для сплава.

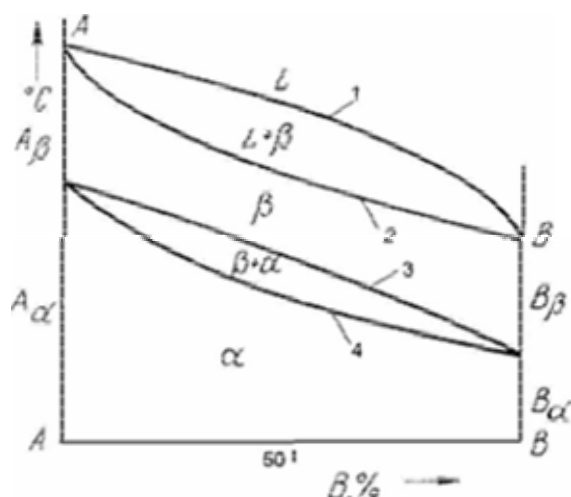


Рис. 5.1. Диаграмма состояния

5.3. Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

5.3.1. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью)

Диаграмма состояния и кривые охлаждения сплавов системы представлены на рис. 5.2.

Сначала получают термические кривые. Полученные точки переносят на диаграмму, соединив точки начала кристаллизации сплавов и точки конца кристаллизации, получают диаграмму состояния.

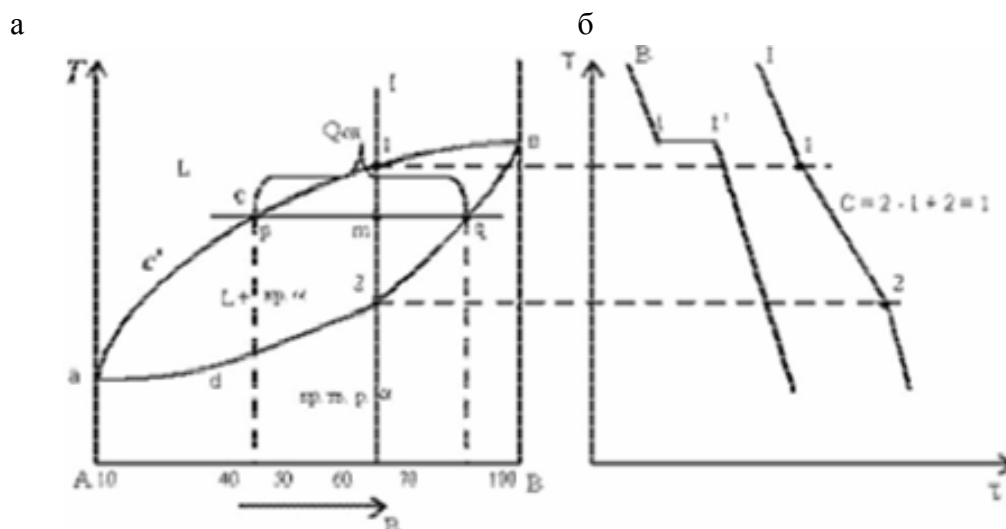


Рис. 5.2. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Анализ полученной диаграммы.

1. Количество компонентов: $K=2$ (компоненты A и B).
2. Число фаз: $\Phi=2$ (жидкая фаза L , кристаллы твердого раствора α).
3. Основные линии диаграммы:

– acb – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;

– adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.

4. Характерные сплавы системы.

Чистые компоненты A и B кристаллизуются при постоянной температуре, кривая охлаждения компонента B представлена на рис. 5.2, б.

Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I , кривая охлаждения которого представлена на рис. 5.2, б.

Процесс кристаллизации сплава I : до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1-2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз, в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов твердого раствора α) число степеней свободы будет равно единице ($C=2-2+1=1$). При достижении температуры, соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α .

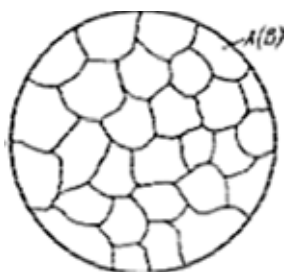


Рис. 5.3. Схема микроструктуры сплава – однородного твердого раствора

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.3.

5. Количественный структурно-фазовый анализ сплава.

Пользуясь диаграммой состояния можно для любого сплава при любой температуре определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение. Для этого используется *правило отрезков*. Для проведения количественного структурно-фазового анализа через заданную точку проводят горизонталь (коноду) до пересечения с ближайшими линиями диаграммы (ликвидус, солидус или оси компонентов).

а) Определение состава фаз в точке m .

Для его определения через точку m проводят горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы: ликвидус и солидус.

Состав жидкой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией ликвидус p на ось концентрации.

Состав твердой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией солидус q (или осью компонента) на ось концентрации.

Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса, а состав твердой фазы – по линии солидуса.

С понижением температуры состав фаз изменяется в сторону уменьшения содержания компонента B .

б) Определение количественного соотношения жидкой и твердой фазы при заданной температуре (в точке m).

Количественная масса фаз обратно пропорциональна отрезкам проведенной коноды. Рассмотрим проведенную через точку m коноду и ее отрезки.

Количество всего сплава ($Q_{\text{сп}}$) определяется отрезком pq .

Отрезок, прилегающий к линии ликвидус pm , определяет количество твердой фазы:

$$Q_{\text{тв}} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\%.$$

Отрезок, прилегающий к линии солидус (или к оси компонента) mq , определяет количество жидкой фазы:

$$Q_{\text{ж}} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\%.$$

5.3.2. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси)

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 5.4.

Анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов $K=2$ (компоненты A и B).
2. Число фаз $\Phi=3$ (кристаллы компонента A , кристаллы компонента B , жидкая фаза).

3. Основные линии диаграммы:

– acb – линия ликвидус, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;

– ecf – линия солидус, параллельна оси концентраций, стремится к осям компонентов, но не достигает их.

4. Типовые сплавы системы.

а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, на рис 5.4, б показана кривая охлаждения компонента A .

б) *Эвтектический сплав* – сплав, соответствующий концентрации компонентов в точке c (сплав I). Кривая охлаждения этого сплава аналогична кривым охлаждения чистых металлов (рис. 5.4, б).

Эвтектика – мелкодисперсная механическая смесь разнородных кристаллов, кристаллизующихся одновременно при постоянной, самой низкой для рассматриваемой системы, температуре.

При образовании сплавов механических смесей эвтектика состоит из кристаллов компонентов A и B : $эвт. (кр. A + кр. B)$.

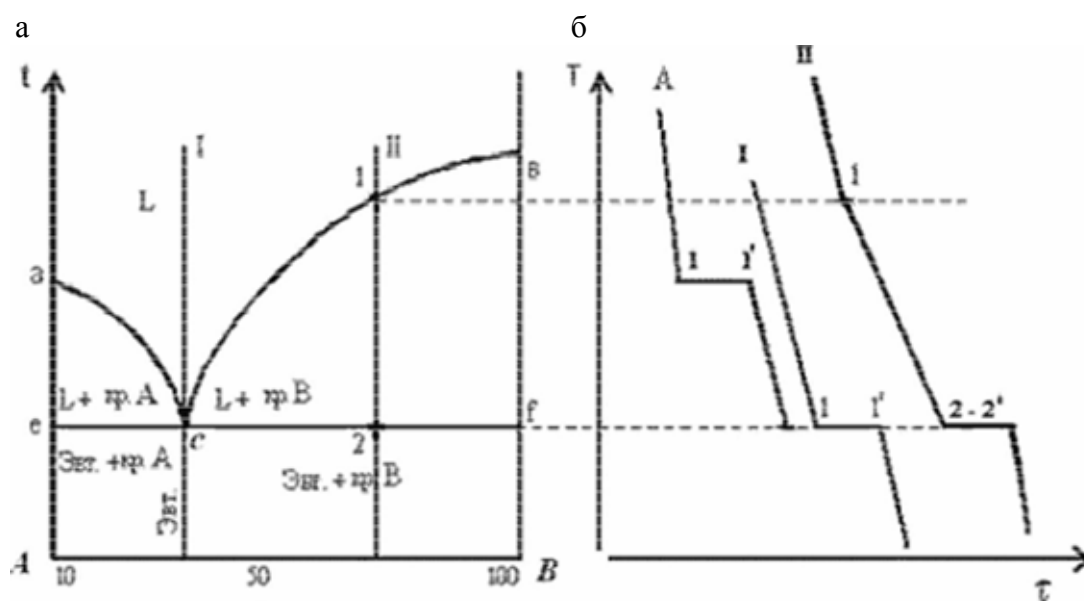


Рис. 5.4. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения сплавов (б)

Процесс кристаллизации эвтектического сплава: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинается одновременная кристаллизация двух разнородных компонентов. На кривой охлаждения отмечается температурная остановка, т.е. процесс идет при постоянной температуре, так как согласно правилу фаз, в двух-компонентной системе при наличии трех фаз (жидкой и кристаллов компонентов A и B) число степеней свободы будет равно нулю ($C=2-3+1=0$). В точке 1' процесс кристаллизации завершается. Ниже точки 1' охлаждает-

ся сплав, состоящий из дисперсных разнородных кристаллов компонентов *A* и *B*.

в) Другие сплавы системы аналогичны сплаву II, кривая охлаждения сплава представлена на рис. 5.4, б.

Процесс кристаллизации сплава II: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации избыточного компонента *B*. На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1-2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз, в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов компонента *B*) число степеней свободы будет равно единице ($C=2-2+1=1$). При охлаждении состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус до эвтектического. На участке 2-2' кристаллизуется эвтектика (см. кристаллизацию эвтектического сплава). Ниже точки 2' охлаждается сплав, состоящий из кристаллов первоначально закристаллизовавшегося избыточного компонента *B* и эвтектики.

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.5.

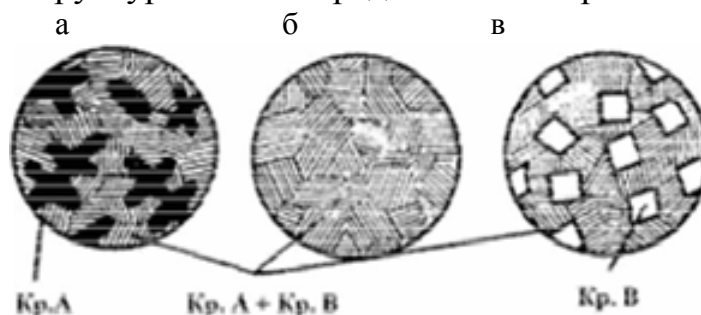


Рис. 5.5. Схема микроструктур сплавов:
а – доэвтектического; б – эвтектического; в – заэвтектического

5. При проведении количественного структурно-фазового анализа, конода, проведенная через заданную точку, пересекает линию ликвидус и оси компонентов, поэтому состав твердой фазы или 100 % компонента *A*, или 100 % компонента *B*.

5.3.3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 5.6.

Анализ диаграммы.

1. Количество компонентов: $K=2$ (компоненты *A* и *B*).
2. Число фаз: $\Phi=3$ (жидкая фаза и кристаллы твердых растворов α (раствор компонента *B* в компоненте *A*) и β (раствор компонента *A* в компоненте *B*)).

3. Основные линии диаграммы:

– acb – линия ликвидус, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;

– $adcfb$ – линия солидус, состоит из трех участков;

– dm – линия предельной концентрации компонента B в компоненте A ;

– fn – линия предельной концентрации компонента A в компоненте B .

4. Типовые сплавы системы.

При концентрации компонентов, не превышающих предельных значений (на участках Am и nB), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам твердых растворов с неограниченной растворимостью (см. кривую охлаждения сплава I на рис. 5.6, б). При концентрации компонентов, превышающих предельные значения (на участке dcf), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам механических смесей (см. кривую охлаждения сплава II на рис. 5.6, б).

Сплав с концентрацией компонентов, соответствующей точке c , является эвтектическим сплавом. Сплав состоит из мелкодисперсных кристаллов твердых растворов α и β , *эвт* (*кр.тв.р-ра* α +*кр.тв.р-ра* β).

Кристаллы компонентов в чистом виде ни в одном из сплавов не присутствуют.

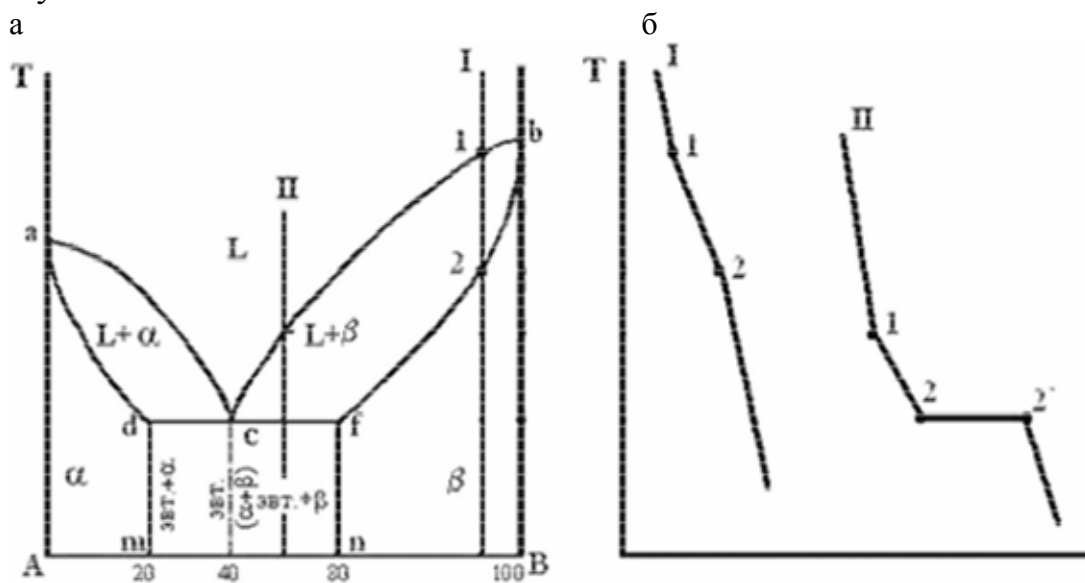


Рис. 5.6. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б)

5.3.4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

Диаграмма состояния сплавов представлена на рис. 5.7.

Диаграмма состояния сложная, состоит из нескольких простых диаграмм. Число компонентов и количество диаграмм зависит от того, сколько химических соединений образуют основные компоненты системы.

Число фаз и вид простых диаграмм определяются характером взаимодействия между компонентами.

$\text{Эвт}_1(\text{кр.}A + \text{кр.}A_mB_n); \text{Эвт}_2(\text{кр.}B + \text{кр.}A_mB_n).$

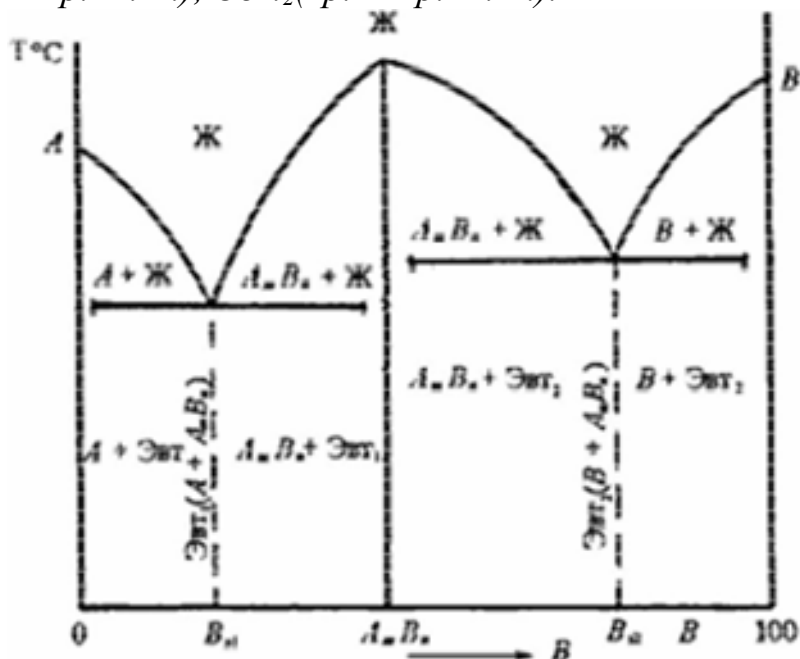


Рис. 5.7. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

Контрольные вопросы

1. Что такое система?
2. Что такое компонент?
3. Что такое фаза?
4. Что такое вариантность системы?
5. В чем суть правила фаз?
6. Что такое диаграмма состояния? Что по ней можно определить?
7. Что такое солидус системы?
8. Что такое ликвидус системы?
9. Что такое эвтектика?
10. Что такое эвтектический сплав?

Лабораторная работа №6 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД»

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

Лабораторное оборудование и материалы: диаграмма состояния системы «железо-углерод», вычерченная в масштабе; альбом с фотографиями микроструктур железоуглеродистых сплавов.

6.1. Компоненты и структурные составляющие в сплавах железа с углеродом

Важнейшими конструкционными материалами являются железоуглеродистые сплавы: техническое железо; стали; чугуны.

Основа для изучения процессов формирования их структуры – диаграмма состояния системы «железо-углерод» (рис. 6.1).

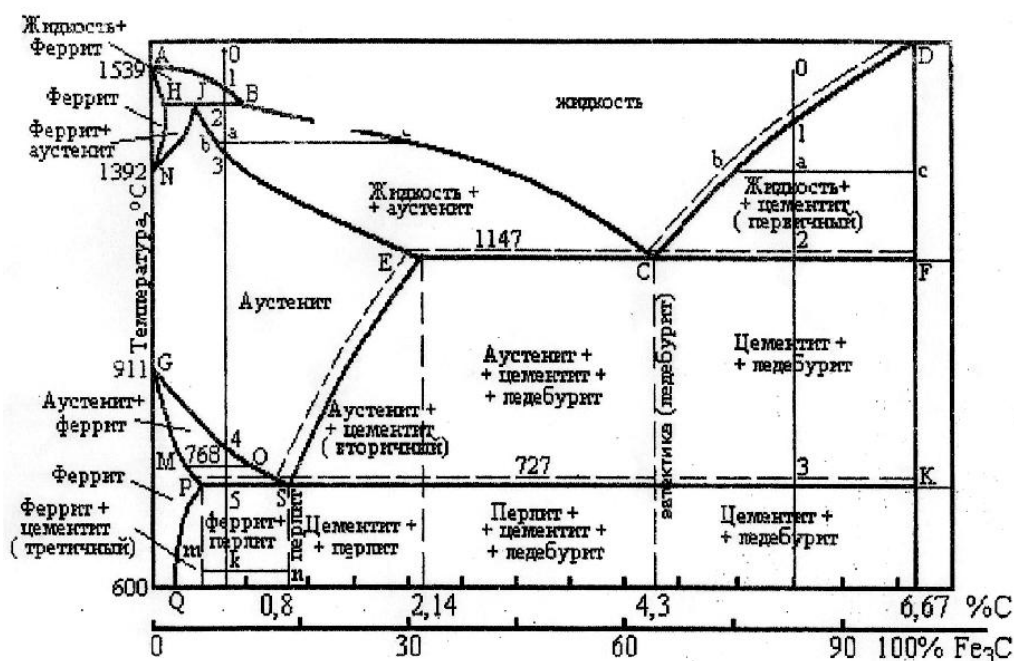


Рис. 6.1. Диаграмма состояния «железо-углерод»

Главными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод.

Углерод – неметаллический элемент с температурой плавления 3500 °С. В железоуглеродистых сплавах углерод может находиться в химически

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. 6.2). В интервале температур 1392...1539 °С α -железо часто обозначают как δ -железо.

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

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

Феррит (Φ) – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Кристаллическая решетка феррита объемно-центрированный куб. Феррит магнитен до температуры 768 °С, имеет небольшую твердость (HB_{80}) и высокую пластичность ($\delta=50\%$). На диаграмме состояния (см. рис. 6.1) феррит занимает области GPQ и AHN . Максимальная растворимость углерода в α -железе около 0,006 % при 20 °С (точка Q), 0,025 % – при 727 °С (точка P) и 0,1 % – при 1499 °С (точка H).

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Кристаллическая решетка аустенита – гранецентрированный 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 ($\delta=40\ldots 50$ %). Твердость аустенита состав-

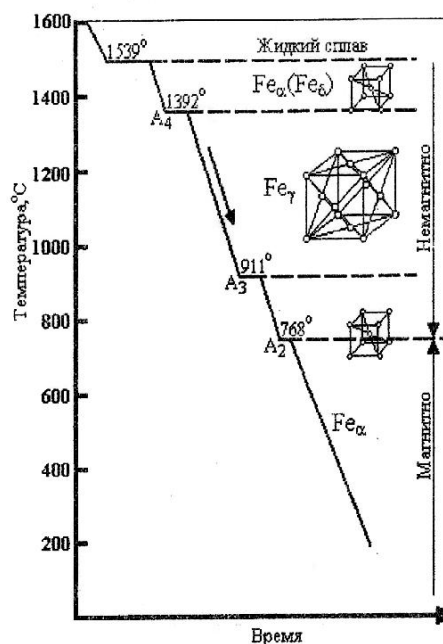


Рис. 6.2. Кривая охлаждения
чистого железа

ляет $HB170...180$. 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 ($HB800$), 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 $+20\text{ }^\circ\text{C}$.

Цементит третичный (Ц_{III}) выделяется из феррита по линии PQ за счет уменьшения растворимости углерода в феррите при снижении температуры до $+20\text{ }^\circ\text{C}$.

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

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

Перлит (P) – эвтектоидная смесь феррита и цементита. Перлит образуется при температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ (линия PSK) 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 $HB200...250$, а зернистый – $HB160...200$.

Ледебурит (L) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита. Ледебурит кристаллизуется при температуре $1147\text{ }^\circ\text{C}$ из жидкости с концентрацией углерода, равной 4,3 %.

При температуре ниже $727\text{ }^\circ\text{C}$ 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 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$;
- стабильная, характеризующая превращения в системе $\text{Fe}-\text{C}$.

На рис. 6.1 сплошными линиями показана метастабильная диаграмма, а пунктирными – стабильная.

6.2. Диаграмма состояния системы «железо-цементит»

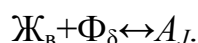
Каждая точка диаграммы состояния системы «железо-цементит» характеризует определенный состав сплава при соответствующей температуре (табл. 6.1).

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

Линия AHJECF (ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии) соответствует завершению первичной кристаллизации – линия солидус.

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

Превращение, 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. Жидкая фаза, содержит 0,5 % С (точка *B*); феррит 0,1 % С (точка *H*); аустенит – 0,16 % С (точка *J*). Число степеней свободы $C=0$.

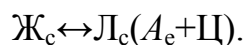
Температурные точки, образующие линию *NJ*, обозначают A_4 .

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 при достижении температур, соответствующих линии *JE*.

Линии BC 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) считается 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, и называется

ледебуритом. Следовательно, линия ECF соответствует температуре конца первичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 2,14 %, и температуре эвтектического превращения:



Т а б л и ц а 6.1

Характерные точки диаграммы состояния Fe-Fe₃C

Обозначение точки	Температура, °C	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 $\text{Fe}_\alpha \leftrightarrow \text{Fe}_\gamma$
<i>E</i>	1147	2,14	Предельная растворимость углерода в Fe_γ
<i>D</i>	1260	6,67	Температура плавления цемента в Fe_3C
<i>G</i>	911	0	Полиморфное превращение $\text{Fe}_\gamma \leftrightarrow \text{Fe}_\alpha$
<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

При строго определенной температуре (1147 °C) в равновесии находятся три фазы определенного состава: жидкая фаза, содержащая 4,3 % C (точка *C*); аустенит – 2,14 % C (точка *E*); цементит – 6,67 % C. Число степеней свободы $C=0$.

Доэвтектические сплавы с содержанием углерода от 2,14 % (точка *E*) до 4,3 % точка (точка *C*) после кристаллизации состоят из кристаллов аустенита, вторичного цемента и ледебурита; заэвтектические, содержащие от 4,3 % C (точка *C*) до 6,67 % C (точка *F*), – из кристаллов первичного цемента и ледебурита. Структура эвтектического сплава, содержащего 4,3 % C, 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 температуру начала вторичной кристаллизации. Температуры, соответствующие линиям GS и ES , принято обозначать соответственно A_3 и A_{cm} .

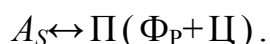
В сплавах, расположенных левее точки S , при понижении температуры ниже линии GS аустенит превращается в феррит. Перестройка кристаллических решеток протекает в интервале температур, соответствующих GS - GP . Поэтому в области GPS железоуглеродистые сплавы имеют двухфазную структуру: аустенит и феррит.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

При достижении температуры $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ состав аустенита для всех сплавов, содержащих углерода более $0,025\text{ }\%$, будет соответствовать точке S ($0,8\text{ }\% \text{ C}$). При этой температуре аустенит превращается в эвтектоидную механическую смесь, содержащую то же количество углерода, что и аустенит, т.е. $0,8\text{ }\%$, и состоящую из феррита (точка P , $0,025\text{ }\% \text{ C}$) и цементита. Такая смесь называется перлитом.

Следовательно, линия PSK показывает температуру конца вторичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более $0,025\text{ }\%$, 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 $0,8\text{ }\% \text{ C}$; феррит – $0,025\text{ }\% \text{ C}$; цементит – $6,67\text{ }\% \text{ C}$. 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, при содержании углерода $0,025\text{ }\%$ (точка P) и менее, структура сплава будет состоять из одного феррита. Структура сплава, содержащего $0,8\text{ }\% \text{ C}$ углерода, при температуре ниже $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ представляет собой один перлит.

С увеличением содержания углерода количество цементита растет. Структура сплавов, расположенных правее точки S , будет состоять из:

- вторичного цементита и перлита (от 0,8 % С до 2,14 % С); перлита, вторичного цементита и ледебурита (от 2,14 % С до 4,3 % С); ледебурита (4,3 % С);

- первичного цементита и ледебурита (от 4,3 % С до 6,67 % С). 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 °С) начинается третичная кристаллизация, связанная с уменьшением растворимости углерода в α -железе.

Линия PQ показывает температуру начала кристаллизации третичного цементита из феррита. Третичный цементит при температуре ниже 727 °С как структурная составляющая может присутствовать у всех сплавов, содержащих от 0,006 до 0,025 % углерода.

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

Сплавы железа с углеродом (0,025...2,14 % С), 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, содержащие от 2,14 до 6,67 % С, 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 $\text{Л} + \text{Ц}_I$).

6.3. Определение структуры и фазового состава железоуглеродистых сплавов

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

Правило концентраций: чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекция точек пересечения на ось концентраций показывает состав фаз.

Правило отрезков: 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.

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) количество жидкой $Q_{ж}$ и твердой $Q_{тв}$ фаз в точке a (см. рис. 6.1) соответственно равно отношениям $(ab/bc) \cdot 100\%$ и $(ac/bc) \cdot 100\%$. Содержание углерода в жидкой фазе приблизительно равно 1,0 %, в аустените – 0,3 %;
- 4) количество феррита $Q_{ф}$ и перлита $Q_{п}$ в структуре при комнатной температуре соответственно составляет: $(kn/mn) \cdot 100\%$ и $(mk/mn) \cdot 100\%$.

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

- 1) сплав относится к заэвтектическому белому чугуно;
- 2) количество жидкой $Q_{ж}$ и твердой $Q_{тв}$ фаз в точке a (см. рис. 6.1) соответственно равно отношениям $(ab/bc) \cdot 100\%$ и $(ac/bc) \cdot 100\%$. 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. Указать химический состав и техническое название заданных преподавателем сплавов.
4. Определить количество жидкой и твердой фаз, а также их состав при температуре, заданной преподавателем.
5. Определить количество структурных составляющих в сплаве при комнатной температуре.
6. Оформить отчет в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

Контрольные вопросы

1. Что относят к железоуглеродистым сплавам?
2. Какие компоненты присущи железоуглеродистым сплавам?
3. Что характеризует точка Кюри?
4. В каких аллотропных модификациях может существовать железо?
5. Что такое цементит?
6. Какие фазы существуют в системе железо-углерод?

7. Что такое феррит и какие свойства ему характерны?
8. Что такое аустенит и какими свойствами ему присущи?
9. Что такое ледебурит?
10. Что такое перлит?
11. Что такое техническое железо?
12. Что называют углеродистыми сталями?
13. Как углеродистые стали классифицируются по содержанию углерода и структуре?
14. Что называют белыми чугунами?
15. Как белые чугуны классифицируются по содержанию углерода и структуре?
16. Что такое серый чугун?
17. Какую кристаллическую решетку имеет α -железо? Укажите температурный интервал существования α -железа.
18. Напишите эвтектическую реакцию железоуглеродистого сплава.
19. Какие железоуглеродистые сплавы называют сталями и чугунами?
20. Какие критические точки обозначают A_1 и A_3 ? Укажите превращения, происходящие при этих температурах.

Лабораторная работа №7

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

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

Лабораторное оборудование и материалы: металлографический микроскоп; набор микрошлифов технического железа и углеродистых сталей; комплект фотографий микроструктур железоуглеродистых сплавов; диаграмма состояния системы «железо-цементит».

7.1. Влияние содержания углерода на структуру и свойства стали

Сплавы железа и углерода, содержащие углерода до 2,14 %, называют *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 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 %; 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. 7.1 показана микроструктура доэвтектоидной стали, содержащей 0,015 % углерода: темные линии на рисунке – границы зерен феррита; светлое поле – зерна феррита; включения по границам зерен – цементит.

С ростом содержания углерода в стали меняется ее структура: количество цементита увеличивается, феррита уменьшается. Феррит представляет собой мягкую пластичную структурную составляющую. Цементит тверд и хрупок. Соответственно изменению структуры изменяются и свойства стали. Чем больше углерода в стали, тем выше ее твердость и прочность, но ниже пластичность (рис. 7.2).

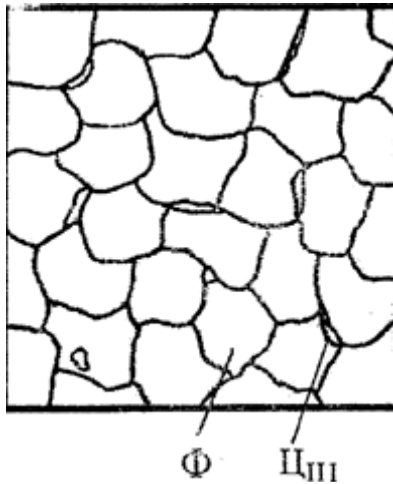


Рис. 7.1. Доэвтектоидная сталь, содержащая 0,015 % С (структура: феррит+цементит)

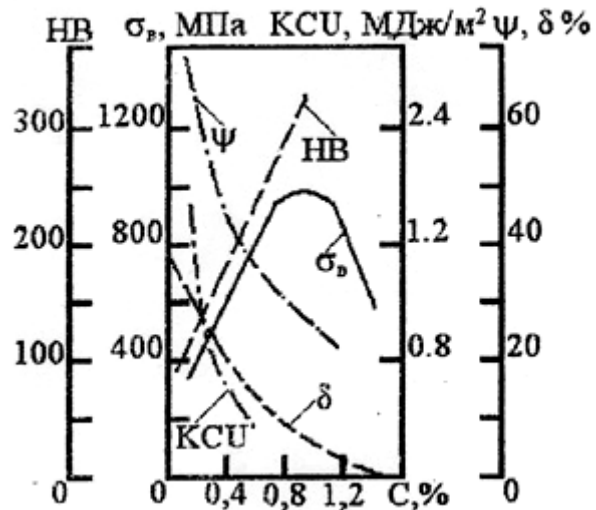


Рис. 7.2. Влияние углерода на механические свойства сталей

Кроме того, углерод изменяет технологические свойства стали. При увеличении содержания углерода 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. 7.3). Количество феррита и перлита зависит от содержания в стали углерода. С его ростом количество феррита уменьшается, а перлита — увеличивается. На рис. 7.3, видно, что с увеличением содержания углерода в стали количество темных зерен перлита возрастает за счет уменьшения количества зерен феррита.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно определить примерное содержание в ней углерода. Для этого необходимо найти площадь поверхности шлифа стали, занятую перлитом.

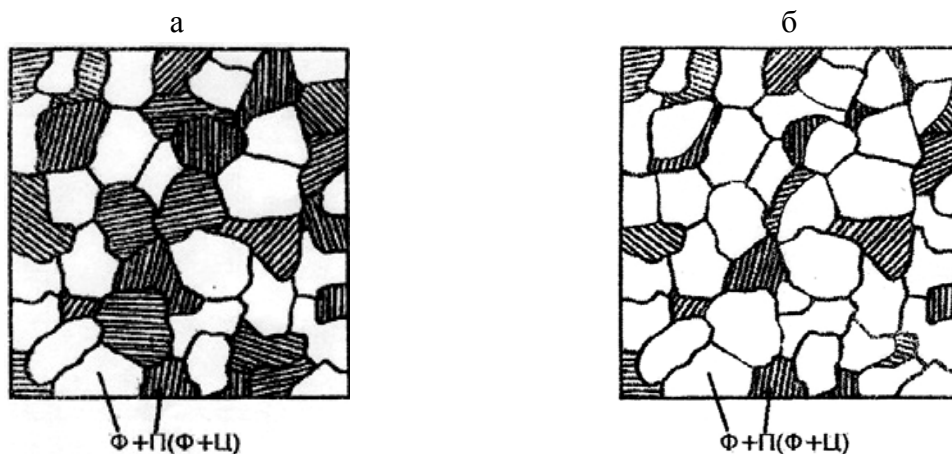


Рис. 7.3. Доэвтектоидная сталь с различным содержанием углерода: а — 0,6 % С; б — 0,2 % С, структура: феррит+перлит

50 % П – x % С

МОЖНО ВЫЧИСЛИТЬ СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В СТАЛИ:

x=0,4 % C.

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

Эвтектоидная сталь (0,8 % С) имеет структуру, состоящую только из перлита. Перлит – двухфазная структура, которая представляет собой смесь феррита и цементита зернистого либо пластинчатого строения. На рис. 7.4, а представлена микроструктура зернистого перлита, где на светлом поле феррита равномерно распределены мелкие, округлой формы частицы цементита. На рис. 7.4, б – эвтектоидная смесь частиц феррита и цементита в виде удлинённых пластинчатых кристаллов. Это пластинчатый перлит.

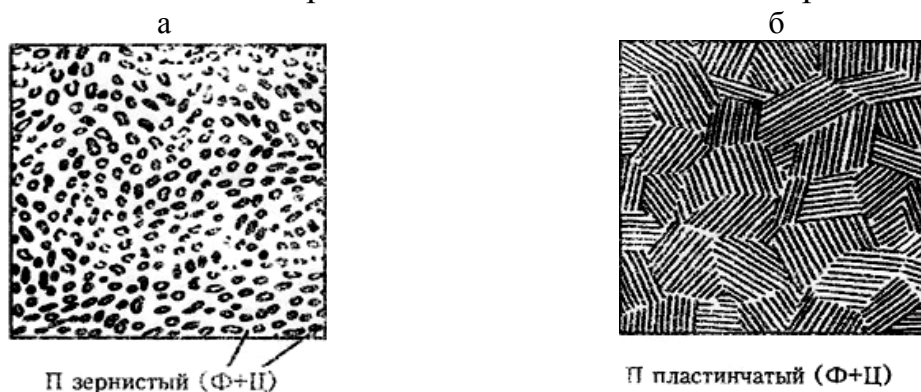


Рис. 7.4. Эвтектоидная сталь (0,8 % С):
а – зернистый перлит; б – пластинчатый перлит

Зернистый перлит имеет меньшую твердость (120...220НВ), чем пластинчатый (200...250НВ), и лучше обрабатывается резанием.

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 $A_{ст}$ (линия SE) до температуры A_1 (линия PSK) в виде сетки по границам зерен (смотри диаграмму «железо-углерод»). При достижении температуры A_1 аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения микроструктура заэвтектоидной стали состоит из перлита и сетки вторичного цементита (рис. 7.5): белая сетка – вторичный цементит, внутри сетки зерна пластинчатого строения – перлит.

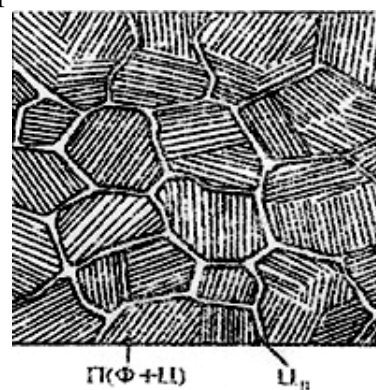


Рис. 7.5. Заэвтектоидная
сталь (1,2 % C);
структура: перлит +
цементит вторичный

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 соответствующей пропорции следует найти 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 пропорции вычисляем:

– содержание углерода в перлите:

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

$$95 \% \text{ П} - x \% \text{ С}$$

$$x=0,76 \%;$$

– содержание углерода в цементите:

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

$$5 \% \text{ Ц} - x \% \text{ С}$$

$$x=0,33 \%;$$

– содержание углерода в стали составляет:

$$0,76+0,33=1,09 \% \text{ С}.$$

7.2. Классификация сталей по назначению и содержанию вредных примесей

Углеродистые стали по назначению делятся на:

- конструкционные, содержащие до 0,85 % углерода;
- инструментальные, содержащие от 0,7 до 1,3 % углерода.

Конструкционные стали в зависимости от термической обработки, применяемой к готовым деталям, подразделяются на:

- цементуемые (до 0,3 % С);
- улучшаемые (0,3...0,5 % С);
- средноотпущенные (0,5...0,85 % С).

По структуре в отожженном состоянии эти стали относятся к доэвтектоидным и имеют ферритно-перлитную структуру.

Инструментальные стали по структуре отожженном состоянии могут быть:

- доэвтектоидные;
- эвтектоидные;
- заэвтектоидные.

Свойства углеродистых сталей и область их применения зависят от содержания в них вредных примесей: серы и фосфора. Чем ниже их концен-

трация в стали, тем выше ее качество. По содержанию вредных примесей стали подразделяются на:

- обыкновенного качества;
- качественные;
- высококачественные.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) содержит до 0,07 % фосфора, 0,04 % серы, 0,06...0,49 % углерода и являются конструктивными. В равновесном состоянии имеют ферритно-перлитную структуру.

В зависимости от состояния поставки они подразделяются на три группы:

- А;
- Б;
- В.

Стали маркируются сочетанием букв Ст и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Чем больше номер 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 на 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, Ст5, Ст6) и предназначены для изготовления изделий, не подвергающихся горячей обработке.

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

Стали группы В поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (ВСт0, ВСт1,..., ВСт6) и применяются для изготовления сварных конструкций ответственного назначения.

Степень раскисления стали обозначается добавлением индексов:

- в спокойных сталях – СП;
- в полуспокойных – ПС;
- в кипящих – КП.

Например, БСт3_{СП}, Ст3_{ПС}, БСт3_{КП}.

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 следующей цифрой (Ст3_{ПС} 2). 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 (ГОСТ 1050-88) содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы, 0,05...0,85 % углерода и поставляются с гарантированным химическим составом и механическими свойствами.

Маркируют их двузначными числами: 08, 10, 15, 20,..., 85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 10 содержит 0,10 % С. Спокойные стали маркируются без индекса, полуспокойные и кипящие – с индексами соответственно ПС и КП.

Стали марок 05_{ПС}, 08_{КП}, 08, 10 используются для изготовления деталей сложной конструкции методом холодной штамповки.

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

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

Из сталей марок 65, 70, 75, 80, 85 получают 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), содержащими серы не более 0,02 %, фосфора – 0,03 %.

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

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

Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуру доэвтектоидных, эвтектоидных, 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 их назначению и содержанию вредных примесей, а также принцип маркировки сталей.

5. Определить содержание углерода и марку углеродистой стали (по заданию преподавателя), указать ее свойства и область применения. Результаты занести в табл. 7.1.

6. Оформить отчет по работе, в котором дать классификацию сталей по различным признакам; привести структуру рассмотренных образцов; заполнить табл. 7.1.

Т а б л и ц а 7.1

Наименование сплава	Структура	Содержание углерода, %	Характеристика сплава и его применение

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию сталей по содержанию углерода. Укажите структуру сталей, содержащих различное количество углерода.

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

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

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

6. Укажите содержание серы, фосфора в сталях обыкновенного качества, качественных.

Лабораторная работа №8

РЕШЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Испытанию на растяжение подвергался стандартный цилиндрический образец из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества (строительной), поставленной заводом по группе «Б». Размеры рабочей части образца составляли $d_0=18$ мм, начальная длина $l_0=150$ мм. Физические признаки текучести металла (явно выраженное удлинение образца при абсолютной нагрузке) зафиксированы при показании силоизмерителя разрывной машины $F_m=5400$ кгс. Разрыв образца произошел после того, как силоизмеритель отметил максимум нагрузки, равный $F_b=10200$ кгс, после прохождения которого, нагрузка начала падать, и произошел разрыв образца. Длина образца после разрыва $l_k=201$ мм. Рассчитать предел текучести, предел прочности и относительное удлинение стали при разрыве и определить какой марке удовлетворяет испытанная сталь?

Задача 2. При испытании на разрывной машине стандартного образца из углеродистой конструкционной качественной стали диаметром $d_0=18$ мм и длиной рабочей части $l_0=200$ мм отмечались следующие пластические (остаточные) деформации при таких показаниях силоизмерителя машины:

Показания силоизмерителя F , кгс	Остаточные деформации, Δl , мм
1000	0,0
2000	0,0
4000	0,01
5000	0,014
6000	0,016
8000	0,22
10000	0,34
12000	0,48
14000	0,96
16000	1,65
18000	3,98
20000	7,65
19000	12,78
18000	19,88
17000	28,30

По результатам испытания стали определить расчетом:

- а) условный предел упругости стали;
- б) условный предел текучести;
- в) временное сопротивление разрыву;
- г) относительное удлинение стали при разрыве.

На основании полученных данных указать, какой марке удовлетворяет испытанная сталь.

Задача 3. На строительный объект поступила арматурная сталь марки Ст-4сп. Необходимо определить основные физико-механические показатели этой стали.

Задача 4. Два образца стали содержат соответственно 0,70 % и 1,2 % углерода. Описать основные физико-механические свойства этих сталей и объяснить причину их различия.

Задача 5. При определении твердости стали на прессе Бринелля нагрузка составляла $F=3000$ кгс. Применяли шарик диаметром $D=10$ мм. Получены три отпечатка диаметрами: $d_1=5,06$ мм, $d_2=5,13$ мм, $d_3=5,14$ мм. Необходимо определить показатель твердости стали.

Задача 6. Сталь содержит 0,65 % углерода и имеет твердость по Бринеллю 200 кгс/см². Определить, чему равно временное сопротивление стали разрыву σ_b .

Задача 7. Для создания предварительного напряжения в железобетонной балке арматурный стержень длиной 6,0 м из стали марки Ст-5сп (класс арматуры Ат 500С) растягивается с помощью домкрата. Рассчитать, какое удлинение (абсолютное и по отношению к первоначальной длине) необходимо придать стержню для создания в нем напряжения, равного 83 % предела текучести данной стали? Модуль упругости стали марки Ст-5сп принять равным $E=21 \cdot 10^5$ кгс/см².

Задача 8. Работающий на растяжение элемент строительной металлической конструкции (например, стальной фермы) в виде круглого стержня диаметром $d=60$ мм изготовлен из стали марки Ст-4пс. Определить, какая максимально допустимая растягивающая нагрузка может быть допущена в этом элементе, при которой конструкция в целом еще будет сохранять свою несущую способность?

Задача 9. При динамическом испытании стали на ударную вязкость на маятниковом копре образец стали стандартных размеров длиной 5,5 мм и поперечным сечением 10×10 мм разрушился по месту надреза глубиной 2,2 мм при следующих показателях эксперимента: масса маятника 15 кг, высота начального подъема маятника 1,4 м, высота подъема маятника после разрушения им образца 69 см. Определить ударную вязкость испытанной стали.

Задача 10. При испытании стандартных образцов стали марки Ст-5сп на ударную вязкость при различных температурах получены следующие данные:

T°, K	$KCV(a_n), \text{кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2$
293	12,9
283	12,9
273	12,4
263	12,3
253	11,7
243	10,2
233	5,3
223	2,9

Определить порог хладноломкости стали этой марки, т.е. определить минимальную температуру, выше которой эта сталь может надежно работать в строительных конструкциях.

Задача 11. Стальной элемент строительной конструкции с поперечным сечением 40×50 мм, выполненный из стали марки Ст-5сп, подвергается симметричной растягивающе-сжимающей нагрузке величиной 58 тс. Определить, может ли произойти усталостное разрушение стали в этом элементе конструкции при бесконечно большом цикле повторно-переменных нагрузок?

Задача 12. При производстве сборных железобетонных предварительно-напряженных конструкций удлинение стержней арматуры достигается нагревом стержней до 350...400 °С с последующей установкой удлинившихся стержней в жесткие захваты на концах, препятствующие при остывании стержня его сокращению, что создает в стержнях растягивающие напряжения. Необходимо рассчитать, какое удлинение при нагреве необходимо придать арматурному стержню из стали марки 25ГСЗ длиной 5,5 м для последующего (при остывании) создания в нем напряжения, равного 90 % предела текучести? Модуль упругости стали принять равным $E=29 \cdot 10^5$ кгс/см².

Задача 13. При изучении под микроскопом шлифа низкоуглеродистой стали, установлено, что площадь, занимаемая перлитом, составляет 45 % всей площади шлифа. Пользуясь этими данными, определить вид стали и ее ориентировочную марку.

Задача 14. На стройку поступила сталь марки Ст5. Необходимо определить ее фазовый состав.

Задача 15. Углеродистая конструкционная (строительная) сталь обыкновенного качества содержит 0,28 % углерода. Определить показатели основных физико-механических свойств этой стали и установить ориентировочную марку этой стали по ГОСТ 380-2005.

Задача 16. Сталь содержит 0,45 % углерода. Пользуясь диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов, дать ответ на следующие вопросы:

- а) к какому виду сталей по содержанию углерода она относится?
- б) какие структуры представлены в ней при обычной температуре?
- в) сколько перлита (в %) содержится в этой стали?

Задача 17. Какие структуры железоуглеродистых сплавов представлены при обычной температуре в стали, содержащей 1,75 % углерода?

Задача 18. На стройку поступила сталь марки Ст5. Необходимо определить ее фазовый состав, т.е. количество в ней перлита (П), цементита (Ц) и феррита (Ф).

Задача 19. Путем микроскопического анализа шлифа стали установлено, что площадь, занимаемая ферритом, составляет около 55 % общей площади поля зрения, а площадь, занимаемая перлитом – около 45 % общей площади. Определить приблизительное содержание углерода и ориентировочную марку этой стали.

Задача 20. Сталь содержит углерода 0,9 %. Определить содержание в ней перлита (П), цементита (Ц) и феррита (Ф).

Задача 21. Для разрушения на маятниковом копре стандартного образца стали сечением 1×1 см и длиной 5,5 см была затрачена работа 16 Дж. Удар произведен по надрезу в образце, глубина которого 0,3 см. Определить удельную ударную вязкость стали.

Лабораторная работа №9 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

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

Лабораторное оборудование и материалы: металлографический микроскоп; комплект микрошлифов чугунов; набор фотографий микроструктур железоуглеродистых сплавов; диаграмма состояния системы «железо-цементит».

9.1. Разновидности чугунов

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. Благодаря их высоким литейным свойствам, достаточной прочности, износостойкости и относительно малой стоимости, чугуны нашли широкое применение 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 чугуне, он делится на:

- белый;
- высокопрочный;
- серый;
- ковкий.

Белым называют 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:

- *доэвтектические*, содержащие от 2,14 до 4,3 % углерода. Они состоят из перлита, ледебурита и вторичного цементита (рис. 9.1, а);
- *эвтектические*, содержащие 4,3 % углерода. Их структура – ледебурит;
- *заэвтектические*, содержащие от 4,3 до 6,67 % углерода. Их структура состоит из ледебурита и первичного цементита (рис. 9.1, б).

Характерным признаком структуры белого чугуна является наличие эвтектики – ледебурита.

Из-за присутствия в белых чугунах большого количества цементита они имеют высокую твердость ($HB450 \dots 550$) и хрупкость. Для изготовления деталей машин такие чугуны непригодны.

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.

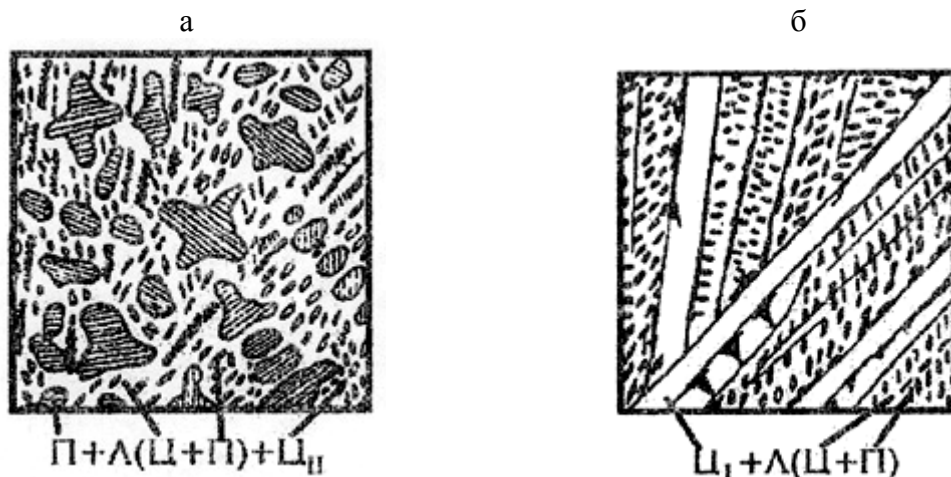


Рис. 9.1. Микроструктура белых чугунов:
а – доэвтектического; б – заэвтектического

В серых, высокопрочных и ковких чугунах весь углерод или его часть находится в свободном состоянии в виде графита. Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием и высокие антифрикционные свойства. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны отличаются условиями образования графитных включений, их формой и механическими свойствами. В серых чугунах графит выделяется в виде пластинок; в высокопрочных – в виде шаров; в ковких – виде хлопьев (рис. 9.2).

По структуре металлической основы все чугуны делятся на:

- *перлитные*, со структурой перлита и графита. Количество связанного углерода составляет 0,8 %;
- *ферритно-перлитные*, со структурой феррита, перлита и графита. Количество связанного углерода от 0,02...0,8 %;
- *ферритные*, со структурой феррита и графита. Весь углерод находится в виде графита.

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

Свойства металлической основы определяются ее структурой. С увеличением количества перлита твердость и прочность чугуна увеличиваются, а пластичность уменьшается.

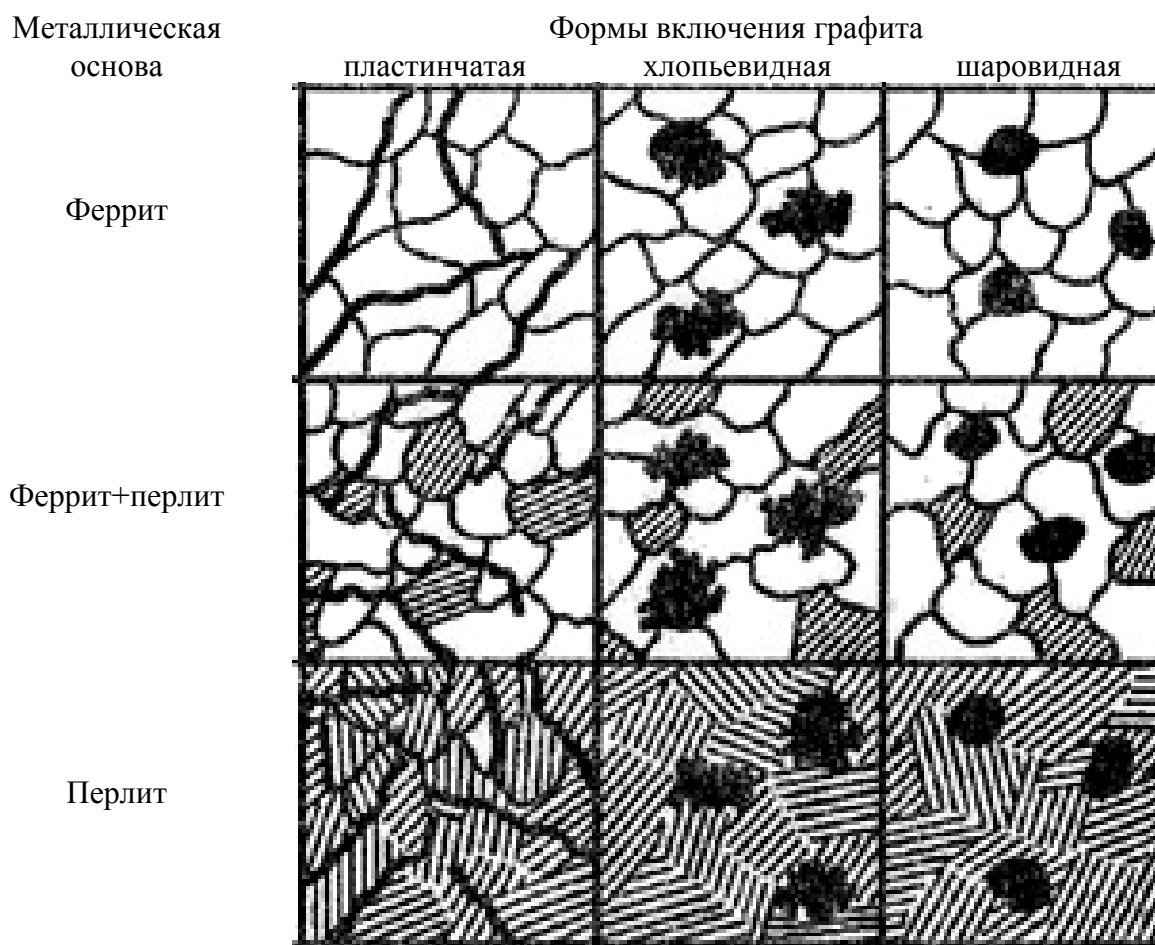


Рис. 9.2. Микроструктура серого, ковкого и высокопрочного чугунов

Наличие графита снижает прочность и пластичность металлической основы. Чем больше графита и крупнее его пластинки, тем ниже механические свойства чугуна.

9.2. Свойства и маркировка серого чугуна

Серым называется чугун, в котором графит имеет пластинчатую форму (рис. 9.2). Серый чугун получается в отливке при медленном охлаждении. Содержание основных элементов в серых чугунах находится в пределах: 2,2...3,7 % углерода C; 1...3 % кремния Si; 0,2...1,1 % марганца Mn; 0,02...0,3 % фосфора P и 0,02...0,15 % серы S. В небольших количествах могут содержаться хром Cr, никель Ni, медь Cu, которые попадают с рудой. 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. Прочность, твердость и износостойкость растут с увеличением количества перлита в металлической основе, которая по строению аналогична сталям.

Пластинчатый графит в сером чугуне играет роль надрезов или трещин, пронизывающих металлическую основу. По этой причине серые чугуны имеют низкие прочность и пластичность (0,5 %). Чем крупнее и прямоугольнее форма графитных включений, тем ниже прочность чугуна. 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. 9.1).

Например, СЧ10 ГОСТ 1412-85.

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

Ферритные серые чугуны СЧ10, СЧ15 предназначены для слабо и средненагруженных деталей (крышки, маховики, корпуса редукторов, подшипников, тормозные барабаны, диски сцепления и т. д.).

Ферритно-перлитные чугуны СЧ20, СЧ25 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 группы СЧ30, СЧ35 благодаря мелким разобщенным графитным включениям. Они используются для деталей, работающих при высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа (зубчатые колеса, гильзы блоков цилиндров, распределительные валы, шпиндели и т.д.).

Т а б л и ц а 9.1

Механические свойства чугунов

Марка чугуна	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	<i>НВ</i>	Структура основы
Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)					
СЧ10	100	-	-	150	Ф
СЧ25	250	-	-	180...245	Ф+П
СЧ35	350	-	-	220...275	П
Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85)					
ВЧ35	350	220	22	140...170	Ф
ВЧ60	600	370	3	192...227	Ф+П
ВЧ80	800	490	2	248...351	П
Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79)					
КЧ30-6	300	-	6	100...163	Ф+до10 %П
КЧ37-8	370	-	12	110...163	Ф+до10 %П
КЧ60-3	600	-	3	200...268	П+до20 %Ф

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

9.3 Свойства и маркировка высокопрочного чугуна

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму (см. рис. 9.2).

Его получают путем двойного модифицирования жидкого серого чугуна ферросилицием и магнием (церием). Магний способствует получению графита в виде шаров, а также измельчению ферритоцементитной смеси металлической основы (перлита). Шаровидная форма графита меньше ослабляет металлическую основу, поэтому такой чугун прочнее и пластичнее серых чугунов.

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. 9.1). Например, ВЧ45 ГОСТ 7293-85.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун подразделяется на перлитный, ферритно-перлитный и ферритный (см. рис. 9.2).

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.

9.4. Свойства и маркировка ковких чугунов

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму (см. рис. 9.2). Они имеют следующий химический состав, %: 2,4...2,9 С; 1,0...1,6 Si; 0,2...1,0 Mn; до 0,02 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 (рис. 9.3).

Отжиг на ферритные чугуны проводят по режиму 1 (см. рис. 9.3). Отливки из белого чугуна медленно (в течение 20...25 ч) нагревают до температуры ниже эвтектической, а именно 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) в условиях ниже температуры эвтектоидного превращения (720...740 °C). В процессе этой выдержки цементит перлита распадается на феррит и графит.

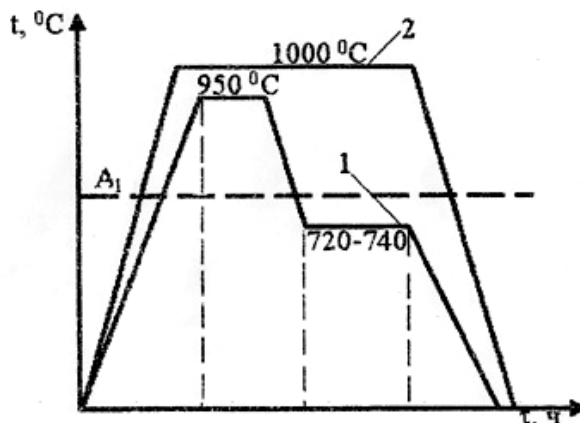


Рис. 9.3. Схема отжига белого чугуна на ферритный (1) и перлитный (2) ковкие чугуны

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.

Перлитный ковкий чугун получают отжигом, который проводят в окислительной среде по режиму 2 (см. рис. 9.3). В этом случае увеличивают продолжительность первой стадии графитизации, после которой проводят непрерывное охлаждение отливок. Графитизация цементита, входящего в состав перлита практически не происходит, поэтому чугун приобретает структуру, состоящую из перлита и хлопьевидного графита.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ и числами, первое из которых указывает уменьшенную в 10 раз величину предела прочности при растяжении σ_b , второе – относительное удлинение при растяжении δ (см. табл. 9.1). Например, КЧ35-10 ГОСТ 1215-79.

Ковкие чугуны широко применяются в сельскохозяйственном, автомобильном и текстильном машиностроении, в судостроении, 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 структуры. Привести марки 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 ковких чугунов. Объяснить принципы их маркировки.

5. Исследовать под микроскопом микрошлифы чугунов, указать наименование сплавов, схематично зарисовать и описать их микроструктуру. Результаты представить в табличной форме (табл. 9.2).

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

Т а б л и ц а 9.2

Наименование и маркировка	Механические свойства			Рисунок и описание структуры	Свойства и применение сплава
	σ_B , МПа	δ , %	<i>HB</i>		

Контрольные вопросы

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

Лабораторная работа №10

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с технологическим процессом термической обработки и получить практические навыки проведения нормализации, отжига, закалки и отпуска углеродистых сталей.

Лабораторное оборудование и материалы: муфельная печь, закалочный бак с водой, закалочный бак с маслом, твердомер Бринелля, твердомер Роквелла, образцы углеродистой стали, клещи, шлифовальная шкурка.

10.1. Сущность термической обработки

Свойства стали одного и того же химического состава можно изменять в широком интервале путем изменения ее структуры. Одним из распространенных методов изменения структуры является термическая обработка. Это совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения сплава, находящегося в твердом состоянии, с целью получения нужного комплекса свойств.

Нагрев необходим для фазовой перекристаллизации стали и для ускорения диффузионных процессов. Температура нагрева при различных видах термической обработки выбирается с учетом температуры критических точек стали и вида обработки. Для сокращения терминологии общепринято критические точки углеродистых сталей, соответствующие одинаковым структурным превращениям, обозначать следующими символами:

A_1 превращение аустенит ↔ перлит (линия PSK);

A_3 превращение аустенит ↔ феррит (линия GS);

$A_{ст}$ превращение аустенит цементит вторичный (линия ES).

На практике температуры критических точек выбирают в справочниках или по диаграмме состояния «железо-цементит» ($Fe-Fe_3C$) (рис. 10.1).

Выдержка необходима для выравнивания температуры по сечению детали и для завершения структурных превращений, которые зависят от скорости диффузионных процессов. Длительность нагрева и выдержки углеродистых сталей определяется размерами детали. Обычно общее время нагрева и выдержки составляет 1...1,5 мин на миллиметр наибольшего поперечного сечения.

Охлаждение – самая ответственная операция, формирующая служебную структуру стали, а, следовательно, и ее эксплуатационные свойства.

Если нагреть сталь до аустенитного состояния, а затем охладить с различными скоростями, то распад аустенита происходит не сразу после достижения температуры A_1 (727 °C), возможно переохлаждение аустенита до температур значительно ниже, при которых он сохраняется ограниченное время. Чем больше скорость охлаждения, тем ниже температура, при кото-

рой происходит распад аустенита. С понижением температуры распада аустенита увеличивается дисперсность структуры, повышается плотность дефектов кристаллической структуры – дислокаций, вакансий, внедренных атомов. Поэтому чем больше скорость охлаждения (до $V_{кр}$), тем выше прочность, твердость и износостойкость стали, но ниже пластичность, вязкость и сопротивление распространению трещин.

Задавая скорость охлаждения стали после нагрева и выдержки, можно получить определенную структуру, а значит, и свойства.

Чаще всего применяются следующие виды термической обработки углеродистых сталей: отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

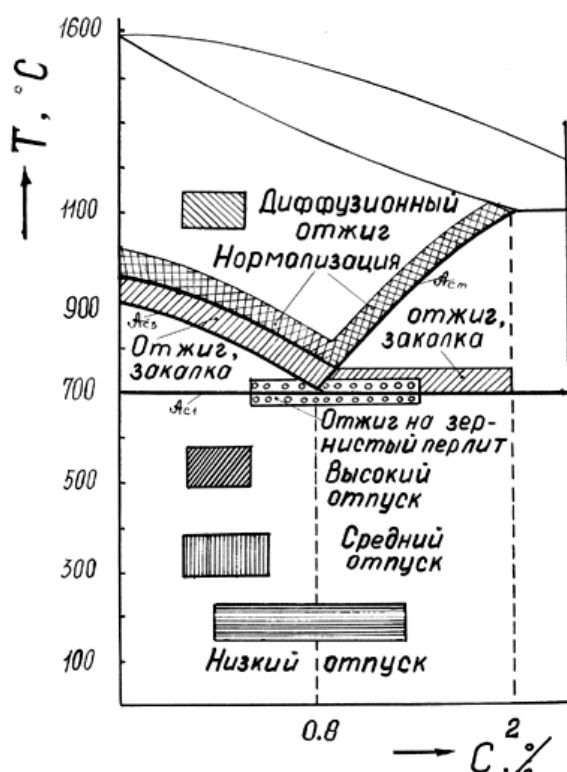


Рис. 10.1. Температуры области нагрева углеродистых сталей для различных видов термической обработки

10.2. Отжиг

Отжиг – это процесс нагрева сплава, выдержки при определенной температуре с последующим медленным охлаждением (вместе с печью).

Отжиг производится для:

- повышения пластичности;
- снижения твердости и улучшения обрабатываемости;
- снятия результатов предшествующей термической обработки;
- получения структуры после литья и горячей деформации;
- подготовки структуры к окончательной термической обработке.

Существуют несколько разновидностей отжига:

- рекристаллизационный;
- полный с фазовой перекристаллизацией;
- отжиг на зернистый перлит;
- диффузионный.

Температура нагрева стали при полном отжиге с фазовой перекристаллизацией зависит от содержания в ней углерода. Температура нагрева стали при отжиге доэвтектоидной стали выбирается равной $A_{C3}+(30...50^{\circ}\text{C})$.

Температура нагрева заэвтектоидной стали $A_{C1}+(30...50^{\circ}\text{C})$. Понижение температуры нагрева заэвтектоидной стали необходимо для того, чтобы цементит не выделился в виде сетки.

Охлаждение стали при отжиге очень медленное. Печь отключается, детали остаются в печи и охлаждаются вместе с печью.

В результате отжига образуется структура с равномерно распределенными составляющими, соответствующая равновесному состоянию системы сплавов $Fe-Fe_3C$. В доэвтектоидной стали структура состоит из зерен феррита и перлита, в эвтектоидной из перлита, а в заэвтектоидной – из перлита и цементита вторичного (рис. 10.2).

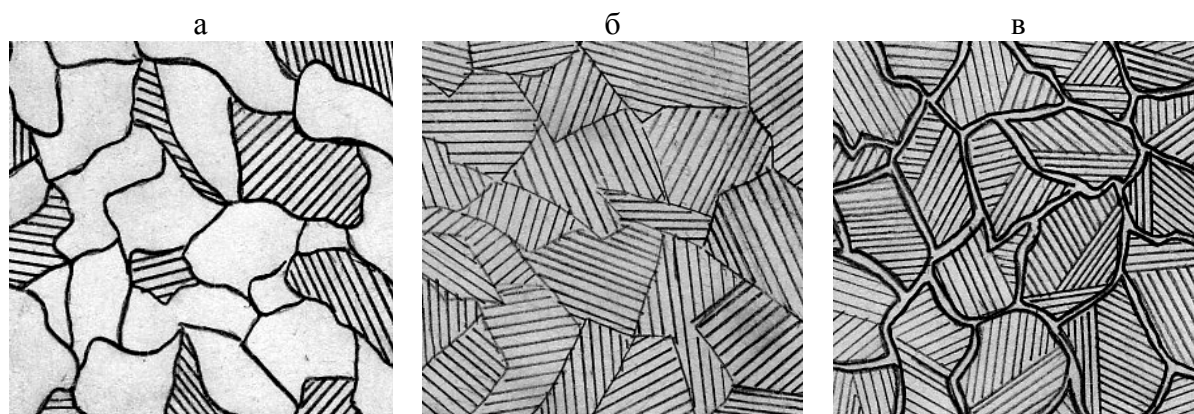


Рис. 10.2. Структура сталей после отжига:
а – доэвтектоидная (П+Ф); б – эвтектоидная (П); в – заэвтектоидная (П+Ц_{II})

10.3. Нормализация

Нормализация – это процесс нагрева сплава, выдержки при определенной температуре и охлаждения на воздухе ($10^{\circ}/\text{с}$).

Нормализация применяется для улучшения обрабатываемости стали, в некоторых случаях как окончательная термическая обработка.

При нормализации скорость охлаждения более высокая по сравнению с отжигом, поэтому структура приобретает мелкозернистое строение. У нормализованной стали повышаются твердость, прочность.

Температура нагрева доэвтектоидной стали $A_{C3}+(30...50^{\circ}\text{C})$, а заэвтектоидной стали $A_{cm}+(30...50^{\circ}\text{C})$.

Повышение температуры нагрева для заэвтектоидной стали по сравнению с отжигом необходимо для растворения цементита вторичного в аустените. Последующее более быстрое охлаждение (на воздухе) смягчает выделение цементита вторичного в виде грубой сетки.

В результате нормализации образуется такая же структура во всех группах углеродистой стали, как и при отжиге, но с более мелким зерном.

10.4. Закалка

Закалка – это процесс нагрева стали, выдержки при определенной температуре с последующей высокой скоростью охлаждения (более $50^{\circ}/\text{с}$). Закалка производится для получения высокой прочности, твердости и износостойкости деталей.

Температура нагрева при закалке доэвтектоидной стали $A_{C3}+(30...50^{\circ}\text{C})$.

Нагревать до области температур между A_{C1} и A_{C3} не рекомендуется. После охлаждения в стали остается феррит, который снижает твердость. Температура нагрева при закалке заэвтектоидной стали $A_{C1}+(30...50^{\circ}\text{C})$.

При этом после охлаждения в структуре закаленной стали остается цементит, который повышает твердость и износостойкость инструмента.

Нагрев выше A_{cm} приводит к растворению вторичного цементита, увеличению количества остаточного аустенита при закалке, дополнительным термическим напряжениям, снижению твердости и прочности.

При охлаждении в воде или в масле аустенит сохраняется до температуры начала бездиффузного распада аустенита ($200...300^{\circ}\text{C}$). При этом происходит перестройка кристаллической решетки железа в железо без выделения углерода и образования цементита.

Весь углерод, растворенный в Fe, остается в Fe, хотя в равновесном состоянии Fe может растворять только 0,006 % C. Таким образом, при закалке образуется твердый пересыщенный раствор углерода в Fe – *мартенсит*.

При закалке доэвтектоидных сталей образуется мартенсит закалки (рис. 10.3, а). Заэвтектоидные стали в своей структуре кроме мартенсита закалки содержат небольшое количество цементита вторичного и остаточного аустенита (рис. 10.3, б).

Сталь с мартенситной структурой имеет высокую прочность, твердость, износостойкость, но низкую пластичность и вязкость. Детали в закаленном состоянии неработоспособны, необходим их отпуск.

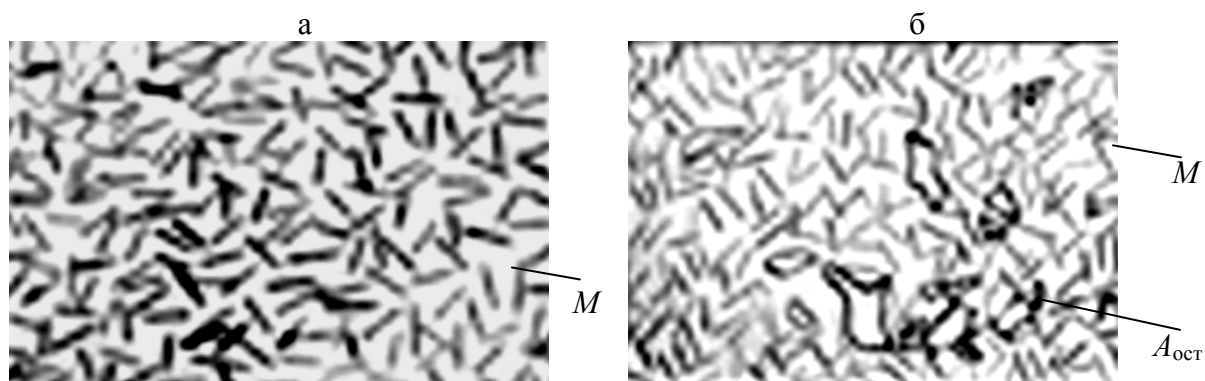


Рис. 10.3. Микроструктура углеродистых сталей после закалки:
а – доэвтектоидные стали; б – заэвтектоидные стали

10.5. Отпуск

Отпуск – это нагрев закаленной стали до температуры ниже критической точки A_{C1} , выдержка при этой температуре и последующее охлаждение на воздухе.

Отпуск производится с целью снятия внутренних напряжений, повышения вязкости и пластичности деталей после закалки и получения более устойчивых структур.

Различают три вида отпуска:

1. Низкий отпуск ($150...250\text{ }^{\circ}\text{C}$). Предназначен для снятия внутренних напряжений при сохранении высокой твердости и износостойкости изделий.

При этих температурах происходит выделение углерода из пересыщенного α -твердого раствора и уменьшается тетрагональность мартенсита. Дополнительно остаточный аустенит переходит в мартенсит. Образуется структура отпущенного мартенсита, где тонкие пластинки выделившегося цементита когерентно связаны с кристаллической решеткой Fe_α . Высокая твердость сохраняется ($HRC55...62$).

В этом режиме отпускается режущий и измерительный инструмент, штампы холодной штамповки, а также детали, поверхность которых работает на трение (после поверхностной закалки, закалки цементированных изделий).

2. Средний отпуск ($350...450\text{ }^{\circ}\text{C}$). Он необходим для получения высоких пределов прочности, упругости и улучшения сопротивляемости стали действию ударной нагрузки.

Завершается выделение углерода из решетки мартенсита. Нарушается когерентность, карбиды обособляются от решетки мартенсита, устраняется его тетрагональность, решетка становится кубической, мартенсит переходит в феррит. Образуется мельчайшая смесь феррита и цементита – троостит отпуска (рис. 10.4).

Полностью снимаются внутренние напряжения, твердость уменьшается ($HRC38...45$). Применяется в основном для пружин и рессор, а на нижнем пределе температур для ударных инструментов.

3. Высокий отпуск ($500...600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Предназначен для получения высокой вязкости при достаточно большой твердости и прочности ($HRC25...35$). При этой температуре происходит коагуляция (укрупнение) частиц цементита, образуется феррито-цементитная смесь – сорбит отпуска (рис. 10.5). Применяется для конструкционных сталей, подвергающихся действию повторно-переменных нагрузок.

Закалка с высоким отпуском обеспечивает сталям высокий комплекс механических свойств – наилучшее сочетание прочности и вязкости, поэтому называется улучшением.

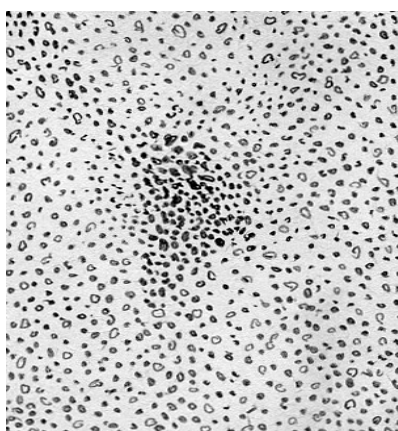


Рис. 10.4. Структура закаленной углеродистой стали после среднего отпуска (тростит отпуска)

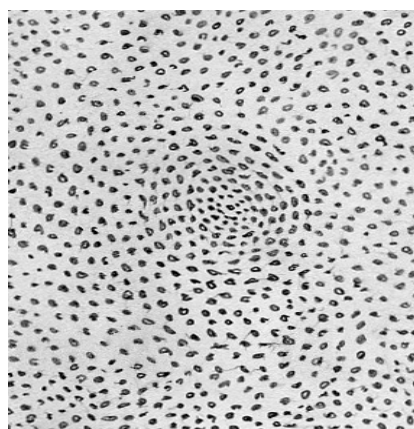


Рис. 10.5. Структура закаленной углеродистой стали после вторичного отпуска (сорбит отпуска)

Порядок выполнения работы

1. Вычертить нижнюю левую часть диаграммы состояния «железо-цементит», указать на ней интервалы температур для термической обработки углеродистой стали.

2. Определить режимы (нагрева, времени выдержки, способа охлаждения) для отжига, закалки, нормализации и отпуска доэвтектоидной и заэвтектоидной сталей (марки сталей назначаются преподавателем). Время нагрева и выдержки образцов принимаем из расчета 1,5 минуты на 1 мм диаметра или толщины образца при отжиге, нормализации и закалке. Время выдержки при температурах отпуска:

- низкий отпуск – $30\text{ мин} \pm 1\text{ мин}$ на 1 мм диаметра или толщины образца;
- средний отпуск – $20\text{ мин} \pm 1\text{ мин}$ на 1 мм диаметра или толщины образца;
- высокий отпуск – $10\text{ мин} \pm 1\text{ мин}$ на 1 мм диаметра или толщины образца;

3. Произвести закалку и все виды отпуска.
4. Определить твердость образцов после закалки и трех видов отпуска.
5. Зарисовать микроструктуры, полученные после всех видов термообработки.
6. Построить кривые влияния температуры отпуска и закалки на изменение твердости закаленной стали.
7. Результаты испытаний и микроисследований занести в табл. 10.1.
8. Сделать выводы по полученным результатам.

Т а б л и ц а 10.1

Вид термической обработки	Сталь 35						Сталь У10					
	Нагрев, °С	Выдержка, мин	Охлаждающая среда	HB	HRC	Микроструктура	Нагрев, °С	Выдержка, мин	Охлаждающая среда	HB	HRC	Микроструктура
Отжиг												
Нормализация												
Закалка												
Закалка и низкий отпуск												
Закалка и средний отпуск												
Закалка и высокий отпуск												

Контрольные вопросы

1. Сущность термической обработки сталей.
2. Охарактеризовать все виды термической обработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск).
3. Определить параметры термической обработки для закалки, отпуска (температуру нагрева, время выдержки, способ охлаждения).
4. Структуры, получаемые после всех видов термической обработки.
5. Механические свойства, получаемые после термической обработки (закалка, нормализация, отпуск, отжиг).
6. Дать определение мартенситу, трооститу, сорбиту.

Лабораторная работа №11

РЕШЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Описать свойства и группу поставки строительных сталей следующих марок:

а) Ст5кп; б) Ст6сп; в) Ст3пс; г) Ст4Гсп.

Задача 2. Расшифровать состав легированных сталей следующих марок:

а) 19ГЗС; б) 30Г2С; в) 35ГС; г) 25ХГ2Ц; д) 15ГС; е) 30Х4П2С; ж) 19ХГСЗАФ; з) 10ГЗАФ.

Задача 3. Для устройства стальных сварных ферм перекрытия строящегося цеха поступила уголкового равнобокого стали марки Ст4. Определить химический состав и основные физико-механические свойства этой стали.

Задача 4. Для производства предварительно-напряженных железобетонных конструкций поступила стержневая арматурная сталь периодического профиля марки 30Г2С диаметром 30 мм. Определить химический состав и физико-механические показатели этой стали.

Задача 5. Содержание углерода в стали 0,62 %. С помощью диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов проследить, какие фазовые изменения будут происходить в этой стали при нагревании ее от комнатной температуры до температуры 1600 °С?

Задача 6. С помощью диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов описать фазовые превращения, происходящие при нагреве заэвтектоидной стали от обычной температуры до 1600 °С.

Задача 7. С помощью диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов описать фазовые превращения, происходящие в стали, содержащей 1,7 % углерода, при нагревании ее от обычной температуры до 1700 °С.

Задача 8. Определить количество феррита и цементита в железоуглеродистых сплавах, содержащих углерода 0,15 %, 0,83 %, 1,5 %, 2,5 %, 4,3 %, 6,0 %. Построить совмещенную диаграмму изменения содержания цементита и феррита в сплавах.

Задача 9. Растянутый элемент металлической балки в форме швеллера №30 изготовлен из стали марки Ст4. При какой нагрузке в данном элементе конструкции появятся остаточные деформации?

Задача 10. Пользуясь диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов обосновать границу между сталью и чугуном по содержанию углерода.

Задача 11. С помощью диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов разработать технологический режим закалки арматурных стержней из стали Ст5.

Задача 12. Разработать режим закалки стали, содержащей 1,45 % углерода.

Задача 13. Углеродистая сталь с содержанием углерода 0,43 % подвергается закалке и среднему отпуску. Установить температуру нагрева стали для закалки и температуру отпуска.

Задача 14. Образец стали содержит углерода 0,25 %. Назначить режим нормализации и установить микроструктуру стали до и после термической обработки.

Задача 15. Назначить режим термообработки для производства отжига стальной арматуры диаметром 10 мм, изготовленной из стали Ст4.

Лабораторная работа №12

МИКРОАНАЛИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучить микроструктуру сплавов на основе меди, на основе алюминия, баббитов. Установить связь между структурами и диаграммами состояния алюминиевых и медных сплавов.

Лабораторное оборудование и материалы: металлографический микроскоп; коллекция микрошлифов исследуемых цветных сплавов; набор фотографий микроструктур.

12.1. Медь и ее сплавы

Характерными свойствами чистой меди являются высокая электропроводность, теплопроводность и стойкость против атмосферной коррозии. Удельный вес меди $8,94 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1083°C . Механические свойства после горячей деформации: $\sigma_{\text{в}} \sim 200 \text{ МПа}$, $\delta \sim 50\%$, $HB \sim 400 \text{ МПа}$. Благодаря высокой пластичности медь хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. В процессе холодной деформации медь наклепывается и упрочняется ($\sigma_{\text{в}} \sim 400 \text{ МПа}$, $\delta \sim 1,5\%$, $HB \sim 1000 \text{ МПа}$). Восстановление пластичности достигается рекристаллизационным отжигом при температуре $500 \dots 600^\circ\text{C}$. Механические и технологические свойства меди сильно понижаются в присутствии висмута, свинца, серы, кислорода.

Микроструктура деформированной и отожженной меди зернистая с наличием двойников (рис. 12.1).

В структуре малораскисленной меди наблюдается закись меди Cu_2O , образующая с медью эвтектику $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$, которая располагается по границам зерен меди, имеет точечное строение (рис. 12.2) и придает ей хрупкость.

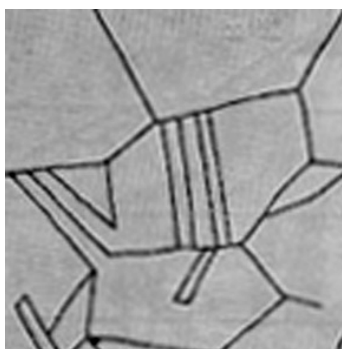


Рис. 12.1. Деформированная и отожженная медь (схема микроструктуры)

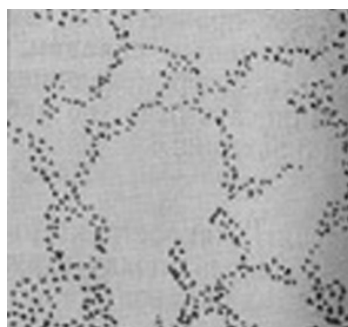


Рис. 12.2. Литая медь с содержанием 0,15 % кислорода (схема микроструктуры)

В зависимости от количества примесей различают марки меди: МОО, МО, М1, М2, М3, М4, где содержание меди составляет: 99,99; 99,95; 99,90; 99,70; 99,50; 99,00 %, а примесей: 0,01; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 % соответственно (ГОСТ 859-78).

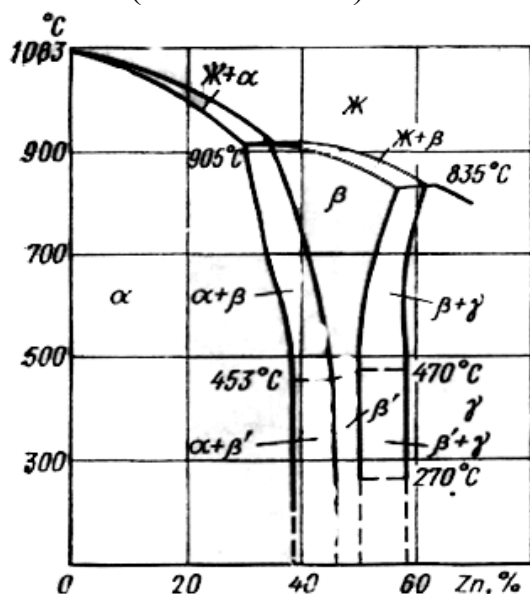


Рис. 12.3. Диаграмма состояния медь-цинк

Для проводников тока применяют чистую отожженную медь, марок МОО, МО, М1.

По химическому составу многие медные сплавы делятся на латуни и бронзы.

Латуни – медно-цинковые сплавы (Cu-Zn) (рис. 12.3).

Практическое применение находят латуни однофазные с содержанием цинка до 39 % (α -латуни) и двухфазные с содержанием цинка от 35 до 45 % ($\alpha+\beta$ -латуни).

Микроструктура литой α -латуни (рис. 12.4) имеет дендритное строение. Светлые ростки дендриты, богатые медью, затвердевшие первыми из жидкого состояния; темные участки междендритные пространства, обогащенные цинком.

Микроструктура деформированной и отожженной α -латуни имеет зернистое строение и характерные полосы двойников. Из-за различной ориентировки зерен (анизотропии) они травятся с разной интенсивностью, поэтому окраска различна (рис. 12.5).



Рис. 12.4. Литая α -латунь с 30 % цинка (типа Л70) (схема микроструктуры)



Рис. 12.5. Деформированная и отожженная латунь (схема микроструктуры)

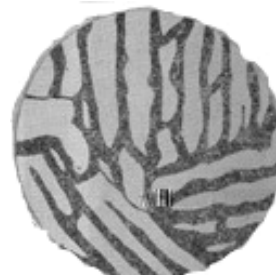


Рис. 12.6. Литая $\alpha+\beta$ -латунь типа Л63 (схема микроструктуры)

Граница между однофазной α -латунью и двухфазной $\alpha+\beta$ -латунью соответствует 39 % (см. рис. 12.3).

В структуре $\alpha+\beta$ -латуни наряду с зернами α -раствора присутствуют более темные (после травления) включения фазы β , β -упорядоченный твердый раствор на базе химического соединения.

Латуни легко поддаются пластической деформации и поэтому детали изготавливают обработкой давлением (прокатка, прессование, штамповка).

Поведение различных латуней при горячей обработке отличается.

Пластичные при комнатной температуре α -латуни в интервале 300...700 °С менее пластичны, $\alpha+\beta$ -латуни, наоборот, при нагреве выше 500 °С становятся более пластичными.

Латуни, содержащие, кроме Cu и Zn, другие металлы, называются специальными. Основные примеси в них – свинец, олово, никель. Свинец (до 2,5 %) улучшает обрабатываемость резанием (автоматная латунь), олово (до 1,5 %) повышает сопротивление коррозии в морской воде («морская латунь»), никель повышает механические свойства.

Латуни маркируют буквой Л, за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах. Например, Л68 – латунь, содержащая 68 % меди, остальное (32 %) – цинк. Латуни, содержащие 90 % меди и более – ТОМПАК (Л96). В марках специальных латуней кроме цифры, показывающей содержание меди, проставляются буквы и цифры, обозначающие название и количество легирующих элементов в процентах (табл. 12.1).

Легирующие элементы: Al – А, Mn – Мц, Ni – Н, Fe – Ж, Sn – О, Si – К, Pb – С, и т.д. Например, ЛАЖМц-66-6-3-2, Cu – 66 %, Al – 6 %, Fe – 3 %, Mn – 2 %.

Т а б л и ц а 12.1

Маркировка и применение латуней

Марка	Область применения
Л96: Cu96 %, Zn4 %	Радиаторные и конденсаторные трубки
Л62: Cu62 %, Zn38 %	Лента, лист, прутки, фольга, проволока, сетки, шайбы, заклепки
ЛКС80-3-3: Cu80 %, Si3 %, Pb3 %	Подшипники, втулки, вкладыши
ЛМцОС58-2-2-2: Cu58 %, Mn2 %, Si2 %, Pb2 %	Шестерни, зубчатые колеса
ЛМцС58-2-2: Cu58 %, Mn2 %, Pb2 %	Антифрикционные детали (подшипники, втулки)
ЛАЖМц66-6-3-2: Cu66 %, Al6 %, Fe3 %, Mn2 %	Гайки нажимных винтов, массивные червячные винты
ЛА67-2,5: Cu67 %, Al2,5 %	Детали, работающие в агрессивной среде

Бронзы – сплавы меди, не содержащие цинка (иногда цинк в них есть, но не является основным легирующим элементом).

Название бронзы дается по основным легирующим добавкам, входящим в состав сплава. Например, сплавы меди с оловом называются *оловянистыми бронзами*, сплавы меди с алюминием – *алюминиевыми бронзами*, сплавы меди с бериллием – *бериллиевыми бронзами* и т.д.

Оловянистая бронза – старейший цветной сплав (рис. 12.7). У нее высокая жидкотекучесть, малая усадка, достаточная прочность и твердость,

высокая стойкость против коррозии. Поскольку олово – дефицитный и дорогой металл, стремятся заменить оловянистую бронзу сложными бронзами – алюминиевыми, кремнистыми, свинцовистыми.

Оловянистые бронзы применяют преимущественно в литом виде (двухфазные), иногда деформируемые (однофазные).

Дендриты α -фазы, обогащенные медью, при травлении темнеют, а междендритные пространства, обогащенные оловом, остаются светлыми (рис. 12.8). При содержании олова свыше 6...8 % структура оловянистой бронзы состоит из дендритов α -фазы и включений эвтектоида ($\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$): $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ – фазы с высокой твердостью, $\alpha + \delta$ – двухфазная бронза.

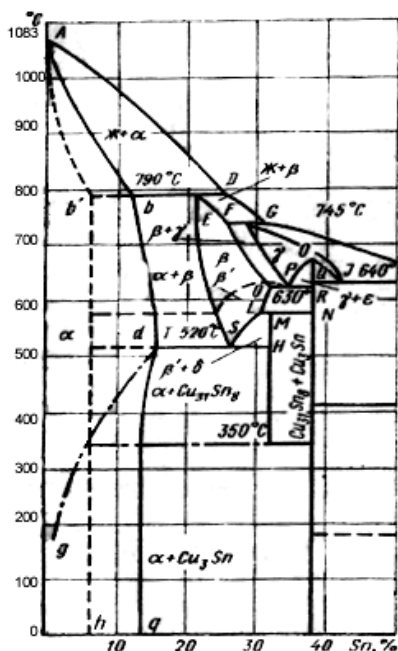


Рис. 12.7. Часть диаграммы состояния медь-олово

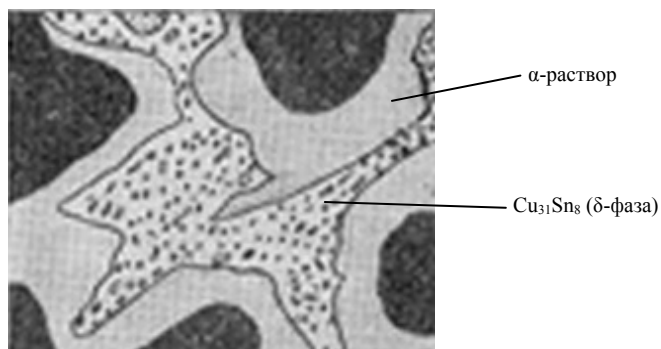


Рис. 12.8. Литая оловянистая бронза с 10 % Sn (схема микроструктуры)

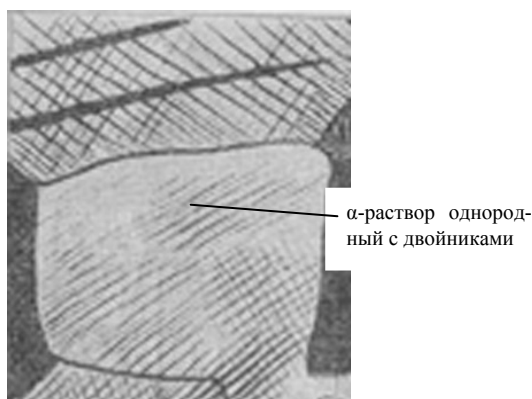


Рис. 12.9. Деформированная и отожженная оловянистая бронза с 6 % Sn (схема микроструктуры)

Литейные оловянистые бронзы (БрОЦС-5-5-5; БрОЦС-4-4-17) с двухфазной структурой: $\alpha + \text{эвтектоид}$ ($\alpha + \delta$). Их отличают высокие антифрикционные свойства, поскольку структура сочетает мягкую основу и островки

твердого эвтектоида. Изготавливают антифрикционные детали (втулки, подшипники, вкладыши, червяки) и арматуру, работающую в морской воде.

Деформируемые бронзы содержат 4...8 % Sn, легированы Pb, Zn, P (БРОФ-6,5-0,5; БрОЦС-4-4-2,5) поставляются в виде прутков, труб, лент в нагартованном или отожженном состояниях. Они имеют однофазную структуру (рис. 12.9) и используются для изготовления пружин, мембран, антифрикционных деталей.

Бронзу маркируют начальными буквами Бр, затем следуют буквы, обозначающие легирующие элементы, потом цифры (через дефис), показывающие количество элементов в процентах (табл. 12.2).

Т а б л и ц а 12.2

Маркировки и применение бронз

Марка	Область применения
БрОФ-6,5-0,5: Sn 6,5 %, P 0,5 %	Ленты, проволока для пружин, шестерни, подшипниковые детали
БрОФ-10-1: Sn 10 %, P 1 %	Литье, вкладыши подшипников, шестерни, венцы, втулки
БрА-5: А 15 %	Лента, полоса (обработка давлением)
БрАЖ-9-4: А 19 %, Fe 4 %	Прутки, трубы, листы
БрБ-2: Be 2 %	Ленты, полосы, для особо упругих элементов плоских пружин, мембран точных приборов
БрС-30: Pb 30 %	Вкладыши тяжело нагруженных подшипников

12.2. Алюминий и его сплавы

Алюминий – металл серебристо-белого цвета. Он обладает малой плотностью ($2,7 \text{ г/см}^3$), высокими тепло- и электропроводностью, остаточной пластичностью и коррозионной стойкостью (пленка Al_2O_3), плохо обрабатывается резанием, удовлетворительно сваривается. Низкая прочность ограничивает его применение как конструкционного материала.

Чистый алюминий содержит 99,99 % Al А999 (0,001 % примесей). Алюминий технической частоты А85...АО (0,15...1,0 % примесей). Из алюминия делают фольгу, кабели, токопроводящие детали.

Применение алюминия расширяется при введении легирующих элементов. По технологическим признакам алюминиевые сплавы делятся:

- деформируемые,
- литейные,
- спеченные.

Деформируемые сплавы в свою очередь делятся:

- не упрочняемые термообработкой (Al-Mn; Al-Mg);
- упрочняемые термообработкой (Al-Cu-Mg – дюралюминий, Al-Mg-Si – авиаль).

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термообработкой (Al-Mn, Al-Mg) АМЦ (Mn~1,3 %) и АМг – сплавы однофазные. Структура – твердый раствор марганца или магния в алюминии. Пластичность высокая (~20), прочность низкая (~150...200 МПа). Сплавы хорошо свариваются и не подвержены значительно коррозии. Изготавливают малонагруженные детали, подвергаемые глубокой вытяжке (холодной), сварные детали и детали, работающие в коррозионной среде (АМц, АМг1 АМг6).

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой. Они при нагреве и охлаждении претерпевают фазовые превращения в твердом состоянии (рис. 12.10).

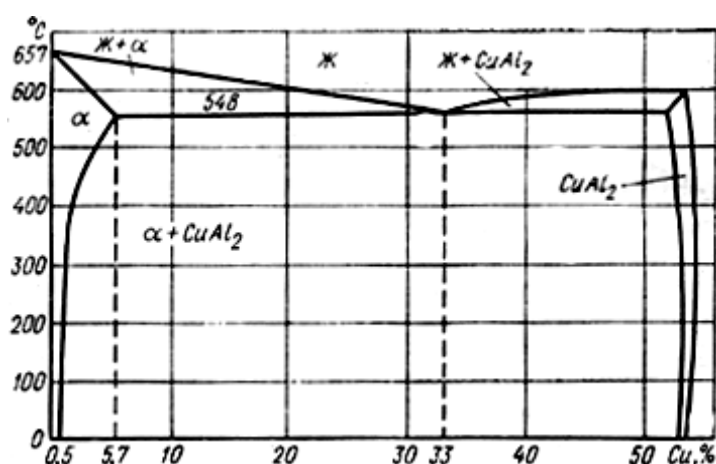


Рис. 12.10. Часть диаграммы состояния алюминий-медь

Наиболее распространены дюралюмины составов: 3,5...4,9 % Cu; 0,8...1,2 % Mg; 0,6...0,8 % Mn; 0,5...0,7 % Fe; 0,5...0,7 % Si; остальное Al.

Дюралюминий хорошо прокатывается в холодном и горячем состоянии, куется, штампуется, обрабатывается резанием.

После прокатки в холодном состоянии необходим отжиг рекристаллизации при 350...370 °C (рис. 12.11,а).

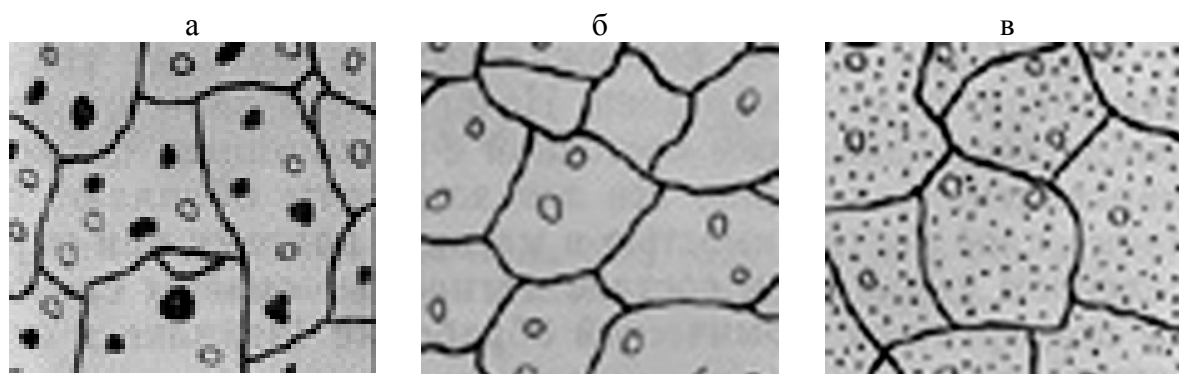


Рис. 12.11. Схемы микроструктур дюралюмина Д1:
а – после отжига; б – после заковки в воде;
в – после заковки и искусственного старения

Основной легирующий элемент – медь, образующая с алюминием упрочняющую фазу CuAl_2 , растворимую при нагреве (фаза S), и нерастворимую Cu_2FeAl (фаза N).

Микроструктура после отжига состоит из твердого раствора Cu в Al (α -раствор) и включений растворимых CuAl_2 , Mg_2Si , Al_2CuMg (темные) и не растворимых FeAl_2 , Cu_2FeAl (белые) фаз.

Окончательная термообработка дюралюмина состоит из закалки в воде с температурой 500 °С и старения. При закалке фиксируется пересыщенный твердый раствор α , обладающий высокой вязкостью и технологической пластичностью (хорошо деформируются в холодном состоянии).

Микроструктура дюралюмина после закалки в воде (рис. 12.11, б) состоит из зерен пересыщенного твердого α -раствора и включений (белые), нерастворимых в алюминии при нагреве фаз.

Для упрочнения производится естественное или искусственное старение. Естественное старение длится 5...7 суток, а искусственное производится при температуре 150...170 °С в течение нескольких часов.

Микроструктура дюралюмина после закалки и искусственного старения (рис. 12.11, в) – твердый α -раствор с точечными мелкодисперсными включениями растворимых фаз, выделившихся из твердого α -раствора в процессе искусственного старения и включениями (белыми) нерастворимых фаз.

После закалки и старения: $\sigma_b \sim 400 \dots 440$ МПа, $\delta \sim 16 \dots 18$ %. Дюралюмины маркируются буквой Д, цифра после буквы обозначает номер сплава, которому соответствует определенный химический состав в процентах (табл. 12.3).

Т а б л и ц а 12.3

Маркировка и химический состав дюралюминов

Марки	Cu	Mg	Mn	Si	Другие элементы
Д1	3,8...4,8	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7	-
Д16	3,8...4,5	1,2...1,8	0,3...0,5	0,5	-
Д20	6...7	–	0,4...0,8	0,3	0,1-0,2п 0,2z ₂

Деформируемые термически упрочняемые сплавы широко применяются в промышленности:

1. Al-Mg-Si сплавы повышенной пластичности – АВ, АД31, АД33 обладают хорошей свариваемостью, высокой пластичностью, коррозионной стойкостью. Изготавливают кованые детали двигателей, рамы, двери.

2. Al-Cu- Mg – Д1, Д16, Д18, В65 – строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей, трубы, заклепки.

3. Al-Cu- Mg – Si – АК6, АК8 – кованые детали сложной формы (подмоторные рамы, крепеж), высоконагруженные штамповочные детали.

4. Al-Cu- Mg – Si – В95, В96 – высокопрочные высоконагруженные конструкции, длительно работающие при температуре до 100 °С.

5. Al-Cu- Mn, Al-Cu- Mg – Д20, АК4-1 – жаропрочные детали, работающие при температурах до 300 °С (поршни, головки цилиндров и др.), обшивка сверхзвуковых самолетов и ракет, компрессорные лопатки, крыльчатки, диски.

Литейные сплавы на основе алюминия широко используются для фасонного литья. Они отличаются хорошей жидкотекучестью, небольшой усадкой и довольно высокой прочностью ($\sigma_B \sim 300 \text{ МПа}$). Основные легирующие элементы: Si, Cu, Mg, Mn, Ni, Cr в небольших количествах (0,5...3,5 %) для повышения коррозионной стойкости и теплоустойчивости (жаропрочности).

Силумин – сплав алюминия с 8...14 % кремнием Si (рис. 12.12). При содержании 11,6 % Si образуется эвтектика из кристаллов α -твердого раствора кремния в алюминии и кристаллов кремния – $\alpha + \text{Si}$.

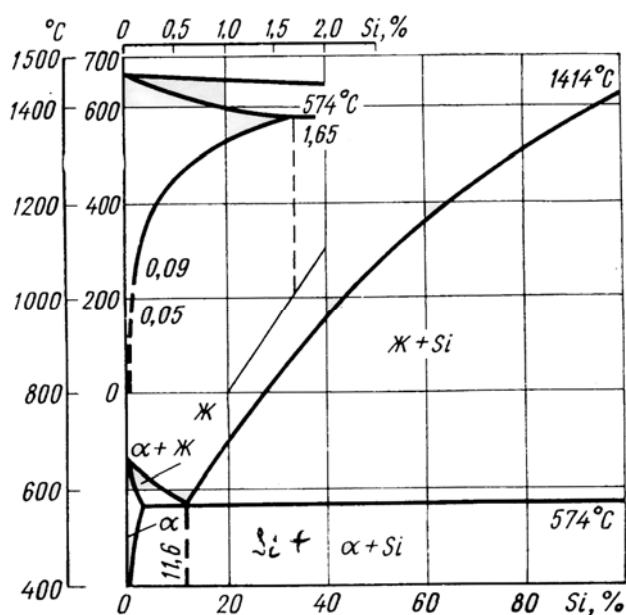


Рис. 12.12. Диаграмма состояния алюминий-кремний

Силумин с содержанием кремния, близким к эвтектическому составу (Al2 10...13 % Si), состоит из эвтектики и небольшого количества избыточных кристаллов α или Si (рис. 12.13).

На рис. 12.13 структура состоит из кристаллов кремния (белые) и эвтектики $\alpha + \text{Si}$ грубого строения, где кремний находится в виде крупных игл. Силумин с такой структурой имеет низкие механические свойства ($\sigma_B \sim 140 \text{ МПа}$, $\delta \sim 4 \%$).

Для повышения механических свойств силумин перед кристаллизацией модифицируют натрием (0,01...0,1 %). При этом измельчаются кристаллы кремния, входящие в эвтектику, исчезают первичные кристаллы Si, повы-

шаются механические свойства ($\sigma_b \sim 180$ МПа, $\delta \sim 9$ %) (рис. 12.14.). Структура состоит из первичных дендритов твердого раствора кремния в алюминии (α) (белые) и эвтектики $\alpha + \text{Si}$ тонкого строения.



Рис. 12.13. Алюминиевый сплав Al2, литье немодифицированное (схема микроструктуры)

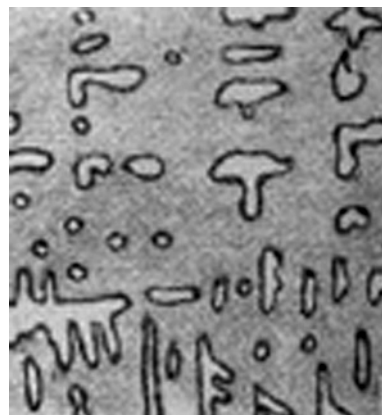


Рис. 12.14. Алюминиевый сплав Al2, литье модифицированное (схема микроструктуры)

Маркируются литейные сплавы буквами Al (алюминиевый литейный), цифра после буквы обозначает номер сплава: Al2, Al4, которому соответствует определенный химический состав. Изготавливают из них поршни, головки цилиндров, корпуса насосов, блоки дизельных двигателей.

Легкоплавкие подшипниковые сплавы. Из подшипниковых сплавов изготавливаются вкладыши подшипников. Материал вкладышей должен:

- иметь малый коэффициент трения;
- повышенную износостойкость;
- выдерживать высокие удельные давления.

Поверхность вала и вкладыша разделена тонкой пленкой смазки, значит, первое требование выполняется. Антифрикционные сплавы должны иметь неоднородную по твердости микроструктуру и состоять из пластичной основы, в которой равномерно распределены включения более твердых и износостойких фаз. Этим особенностям микроструктуры отвечают оловянистые и свинцовистые баббиты.

Оловянистый баббит, содержащий 83 % олова, 11 % сурьмы и 6 % меди, маркируется Б83. Мягкой основой служит твердый раствор сурьмы и меди в олове – α -фаза. Твердыми включениями являются β -фаза (SnSb), выделяющаяся в форме квадратных и треугольных кристаллов, и включения химического соединения Cu_3Sn (рис.12.15).

Медь вводится для создания твердых включений и для того, чтобы препятствовать ликвации при кристаллизации. Включения Cu_3Sn тугоплавки, они первыми кристаллизуются в виде иголочек и звездочек, образуя в жидкой фазе каркас, который препятствует всплыванию β -фазы при дальнейшей кристаллизации баббита. Это обеспечивает равномерное распределение твердых частиц в структуре баббита.

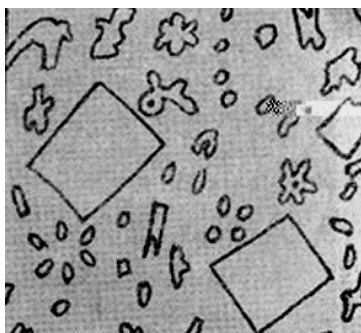


Рис. 12.15. Оловянистый баббит Б83
(схема микроструктуры)

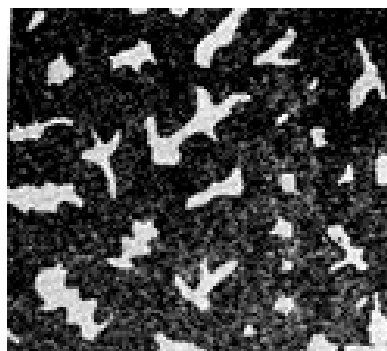


Рис. 12.16. Свинцовистый баббит БК
(схема микроструктуры)

Оловянистые баббиты применяются для заливки подшипников нагруженных машин (паровые турбины, турбонасосы) температура плавления 180...240 °С, $HB \sim 350$ МПа.

Свинцовистые баббиты представлены марками БС (Pb-Sb-Cu) и БК (Pb-Sa-Na). Микроструктура баббита БК (1 % Cu, 0,9 % Na, остальное свинец) приведена на рис. 12.16. На темном фоне α -твердого раствора натрия и кальция в свинце (мягкая основа сплава) видны дендриты химического соединения Pb_3Sa (твердая составляющая сплава).

Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию цветных сплавов на основе меди и алюминия, баббиты.
2. Исследовать под микроскопом шлифы цветных сплавов, схематично зарисовать изучаемую структуру.
3. Оформить отчет: название и цель работы; результаты выполнения задания и объяснения полученных результатов; выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие известны сплавы на основе меди?
2. Какие существуют сплавы на основе алюминия?
3. Что такое баббит?
4. Что происходит в результате старения деформируемых алюминиевых сплавов?
5. Где применяются латуни, бронзы?
6. Область использования силуминов.
7. Основные требования к антифрикционным сплавам.

Лабораторная работа №13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИНКА И БИХРОМАТА КАЛИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

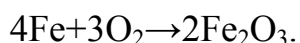
Цель работы: изучить методику защиты черных металлов от коррозии.

Изучению процессов коррозии и разработке наиболее эффективных мер защиты от нее уделяется большое внимание.

13.1. Понятие коррозии виды коррозии

Коррозия – процесс самопроизвольного разрушения металлов вследствие химического или электрохимического воздействия на них окружающей среды. Процессы, приводящие к коррозии металлов, делят на два типа.

Химическая коррозия. При ее протекании происходит непосредственное химическое взаимодействие между металлом и агрессивной средой. Примером химической коррозии может служить разрушение деталей топочных устройств при действии кислорода воздуха в условиях высоких температур:



Электрохимическая коррозия. Она происходит вследствие действия на металл коррозионной среды при наличии на его поверхности слоя электролита. Протекание электрохимической коррозии обусловлено явлениями, подобными тем, какие имеют место в гальваническом элементе.

Как известно, при погружении в электролит двух различных металлов, соединенных между собой проводником, возникает гальваническая пара. Стали не являются однородными материалами. В их состав входят феррит, цементит и другие соединения, обладающие разными электродными потенциалами. Поэтому при наличии на поверхности металла электролита возникают гальванические пары, в которых роль анода играет феррит, а катода – цементит или неметаллические включения.

Электрохимическая коррозия стальных строительных конструкций в атмосфере происходит следующим образом (рис. 13.1).

Протекают два взаимосвязанных процесса: анодный и катодный. При анодном процессе происходит переход положительно заряженных ионов железа, входящих в состав феррита, в электролит. При этом эквивалентное количество электронов остается в металле. Сущность второго (катодного) процесса заключается в том, что электроны, освободившиеся при анодном процессе, переходят в катодный участок (цементит) и восстанавливают деполяризатор, роль которого играет кислород воздуха, что ведет к образованию гидроксид-ионов. Последние вступают в химическую реакцию с об-

разованием гидроксида железа, который с течением времени переходит в соединение переменного состава $n\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, называемое *ржавчиной*.

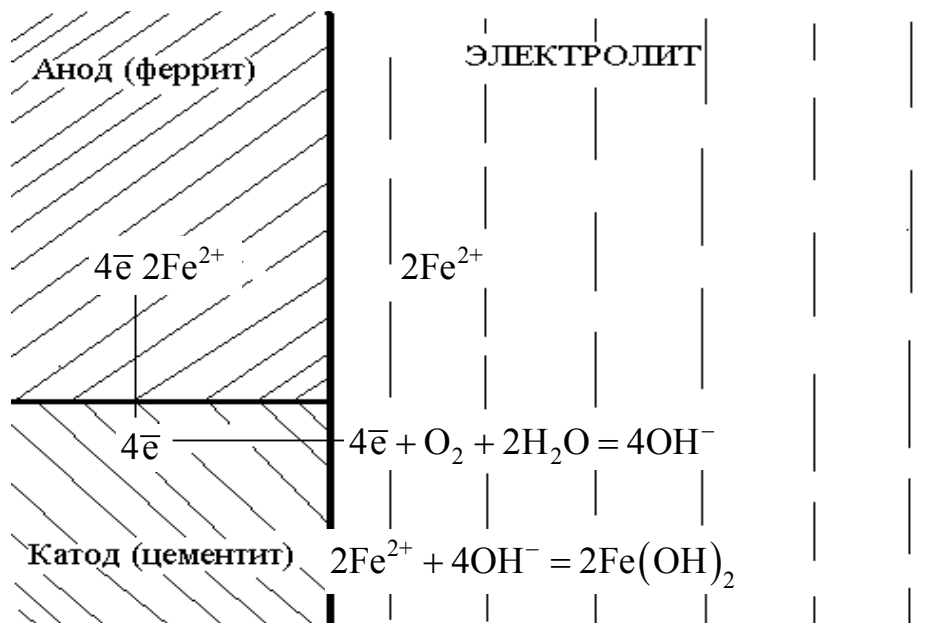


Рис. 13.1. Схема электрохимической коррозии стали

Из приведенной на рис. 13.1 схемы видно, что для протекания электрокоррозионных процессов необходимы три условия:

1. Поверхность металла должна быть неоднородна.
2. На поверхности металла должен быть слой электролита.
3. Необходимо, чтобы к поверхности металла был доступ кислорода.

Несоблюдение хотя бы одного из указанных условий приводит к прекращению коррозионных процессов.

Чтобы уберечь сталь от коррозии, используют разнообразные методы защиты, в частности:

1. Нанесение лакокрасочных покрытий. Этот вид защиты стали от коррозии самый распространенный. Лакокрасочными составами защищают около 80 % корродируемых стальных поверхностей. Защитная роль антикоррозионных покрытий объясняется тем, что они препятствуют проникновению влаги и кислорода к поверхности металла.

2. Повышение коррозионной стойкости металла. Для этой цели в сталь при ее плавке вводят легирующие элементы. Наиболее распространенный из них хром. Последний на поверхности стали образует плотную пленку из оксидов, которая изолирует металл от окружающей среды.

3. Плакирование, то есть покрытие одного металла другим при помощи горячей прокатки. Плакируют, например, листы из стали ВСтЗ тонким слоем из хромовой стали 08Х13. Этот метод защиты от коррозии более выгоден, чем изготовление изделия целиком из легированной стали.

4. Катодные и анодные металлические покрытия. Катодные покрытия эффективны до тех пор, пока сохраняется их целостность. При ее нарушении (трещины, царапины, износ) образуется гальваническая пара. В ней анодом является основной металл, который и подвергается интенсивной коррозии. При нарушении целостности анодного покрытия образуется гальваническая пара, в которой роль анода играет покрытие; в этом случае оно продолжает защищать металл и при нанесении царапин, образовании трещин, износе части покрытия.

Имеются и другие разновидности защиты металлов от коррозии, например, использование ингибиторов или применение цинка в качестве протектора. Механизм действия последних рассматривается при выполнении настоящей лабораторной работы.

13.2. Использование бихромата калия в качестве анодного ингибитора для защиты стали от коррозии

Как указывалось ранее, анодный и катодный процессы происходят сопряженно. Уменьшение скорости одного из них приводит к торможению другого. Поэтому интенсивность коррозии будет определяться скоростью самого медленного процесса.

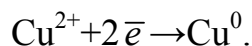
Введение в коррозионную среду определенных веществ приводит к снижению скорости указанных процессов. Такие вещества называются *ингибиторами*. К ним, например, относятся сульфат и хлорид цинка. В щелочной среде они образуют гидроксид цинка, который, осаждаясь на катодных участках, изолирует их от агрессивной среды.

К анодным ингибиторам относится, в частности, бихромат калия $K_2Cr_2O_7$, который, являясь сильным окислителем, образует на поверхности материала оксидную пленку. Последняя препятствует растворению металла в электролите.

Изучение ингибирующего действия бихромата калия производят следующим образом. Поверхность пластинки из листового железа размером 15×55 мм очищают наждачной бумагой от ржавчины и наполовину погружают в 5 %-й раствор бихромата калия на 5 мин. В результате этого образуется оксидная пленка. Пластинку вынимают из раствора и смывают водой остатки бихромата калия с ее поверхности, затем пластинку полностью погружают в 5 %-й раствор сульфата меди.

На необработанной бихроматом калия поверхности пластинки произойдет выделение меди, в то время как на ингибированной части поверхности такого явления не будет. Объясняется это тем, что из-за торможения анодного процесса не образуется избытка электронов на катодных участ-

ках, что, в свою очередь, предотвращает восстановление ионов меди по реакции:



13.3. Использование цинка для протекторной защиты стали от коррозии

Металлические конструкции, например стальные трубы, по которым перекачивается природный газ, нефть и другие материалы, могут подвергнуться агрессивному воздействию минерализованных грунтовых вод, в которых содержатся сульфат калия, хлорид натрия и другие соли.

В таких случаях для предотвращения коррозии металла часто применяется протекторная защита, основанная на использовании цинковых пластин.

Как об этом упоминалось, при соприкосновении металла с электролитом происходит его растворение в виде положительно заряженных ионов. Это сопровождается образованием в поверхностном слое металла избытка электронов, благодаря чему на границе *металл-раствор* возникает скачок электрического потенциала. Каждый металл в зависимости от заряда его ионов, перешедших в раствор, и их концентрации в нем, имеет присущий ему электродный потенциал.

Если два металла, например железо и цинк, опустить в электролит и замкнуть электрическую цепь, то получится гальванический элемент, электродвижущая сила которого определяется как разница электродных потенциалов, устанавливающихся на границе каждого металла с электролитом. При этом электроны с более активного металла (цинк) переходят к менее активному (железо), что, в свою очередь, приводит к восстановлению ионов железа, перешедших в раствор. Подобное явление предотвращает в значительной мере растворение железа в растворе, а следовательно, и коррозию.

$\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}$	$E^0, \text{В}$
Zn/Zn^{2+}	-0,76
Fe/Fe^{2+}	-0,44
$\text{H}_2/2\text{H}^+$	0,0
Cu/Cu^{2+}	0,34

Этот принцип широко известен под названием *протекторной защиты*. К поверхности металла на определенном расстоянии друг от друга присоединяют цинковые пластины, которые защищают конструкцию от коррозии (рис. 13.2).

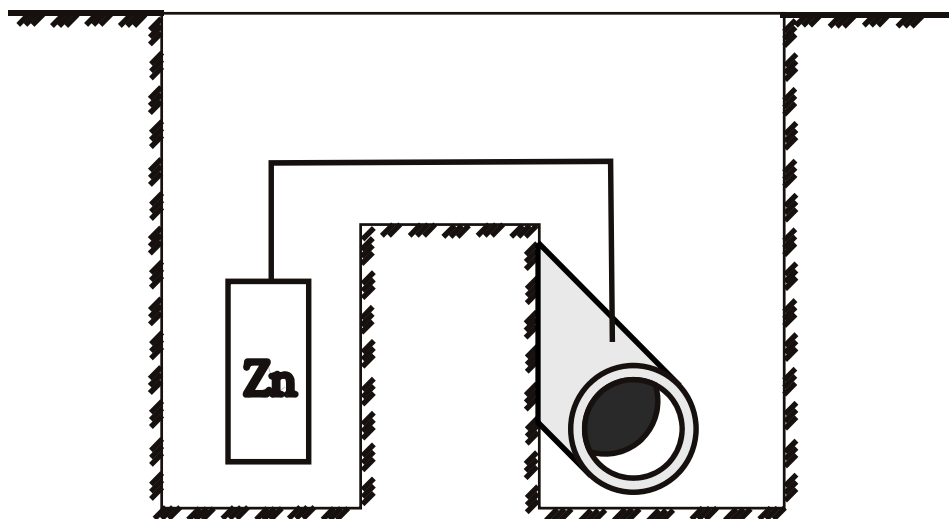


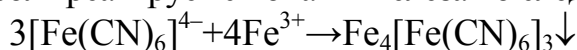
Рис. 13.2. Схема протекторной защиты

Защитное влияние цинка как протектора можно наблюдать следующим образом.

Поверхность двух пластинок из листового железа размерами 15×55 мм наждачной бумагой очищается от ржавчины. Затем к одной пластинке канцелярской скрепкой крепится гранула цинка, с поверхности которой напильником снимается оксидный слой.

Обе пластинки (с цинком и без) помещают в два стакана с 5 %-м раствором NaCl, к которому добавлены несколько крупинок красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$.

Красная кровяная соль реагирует с ионами железа по следующей реакции:



Продукты реакции выделяются в виде окрашенных в темно-синий цвет соединений.

Интенсивность окраски раствора будет зависеть от концентрации ионов железа, перешедших в раствор.

Поскольку цинк препятствует растворению железа, в растворе, куда помещена пластинка из железа, защищенная цинком, окрашивания не будет.

Раствор, в котором находится незащищенная пластинка, начинает с поверхности металла окрашиваться в интенсивный темно-синий цвет.

Контрольные вопросы

1. Что такое коррозия?
2. Какие методы используют для защиты металлов от коррозии?
3. Что представляет собой принцип защиты металлов под названием «протекторная защита»?
4. Какие вещества называются ингибиторами? Приведите примеры.
5. В чем состоит суть ингибиторной защиты металлов от коррозии?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность использования обширной номенклатуры строительных материалов, изделий и конструкций, в том числе металлических, невозможна без их тщательного лабораторного контроля при поступлении на строительство.

Изучение основ производства металлов, термической обработки, их свойств, необходимо для любой строительной специальности. Правильный выбор марки стали и др. металлических материалов, обеспечивает их экономный расход, а также успешную работу изделий, инструментов, машин и конструкций на их основе. В этой связи данные методические указания к лабораторным занятиям являются актуальными и своевременными.

Авторы постарались изложить материал в простой и доступной для студентов форме с целью закрепления и расширения их знаний, полученных при изучении лекционного курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башнин, Ю.А. Технология термической обработки [Текст] / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986.
2. Болтон, У. Конструкционные материалы. Металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты [Текст] / У. Болтон. – М.: Изд-во Додека-XXI, 2007. – 256 с.
3. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986.
4. Егоров, Ю.П. Сборник методических указаний к выполнению лабораторных работ по курсу «Материаловедение» [Текст] / Ю.П. Егоров [и др.]. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 47 с.
5. Багинский, А.Г. Сборник методических указаний к выполнению лабораторных работ по курсам «Технологические процессы в машиностроении» и «Технология конструкционных материалов» [Текст] / А.Г. Багинский [и др.]. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 53 с.
6. Королев, Е.В. Методическое пособие к решению задач по строительному материаловедению [Текст] / Е.В. Королев, С.Ю. Новокрещенова, С.Н. Кислицына. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 116 с.
7. Кнорозов, Б.В. Технология металлов и материаловедение [Текст] / Б.В. Кнорозов [и др.]. – М.: Металлургия, 1987.
8. Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст] / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990.
9. Мозберг, Р.К. Материаловедение [Текст] / Р.К. Мозберг. – М.: Высшая школа, 1991.
10. Некрасов, С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению [Текст] / С.С. Некрасов. – М.: Колос, 1998.
11. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов [Текст] / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1986.
12. Самохоцкий, А.И. Металловедение [Текст] / А.И. Самохоцкий [и др.]. – М.: Металлургия, 1990.
13. Фетисов, Н.П. Материаловедение и технология металлов [Текст] / Г.П. Фетисов [и др.]. – М.: Высшая школа, 2002.
14. Худяков, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: лабораторный практикум: в 3 ч. / В.А. Худяков [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2006. – Ч.3. – 90 с.
15. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т.1, Т.2, Т.3 [Текст]. – М.: Металлургия, 1983.
16. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки [Текст].

17. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия [Текст].

18. ГОСТ 8240-89. Швеллеры стальные горячекатаные [Текст].

19. Электронный адрес сайта, где выложено множество учебников по материаловедению и технологии конструкционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/book_tribo.html

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №1. МАКРОАНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа №2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ (МИКРОАНАЛИЗ)	13
Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ....	23
Лабораторная работа №4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СТАЛИ	39
Лабораторная работа №5. ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ.....	42
Лабораторная работа №6. ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД»	50
Лабораторная работа №7. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ	59
Лабораторная работа №8. РЕШЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ	66
Лабораторная работа №9. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ	69
Лабораторная работа №10. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ.....	76
Лабораторная работа №11. РЕШЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ	83
Лабораторная работа №12. МИКРОАНАЛИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ	85
Лабораторная работа №13. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИНКА И БИХРОМАТА КАЛИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	101

Учебное издание

Шитова Инна Юрьевна
Кислицына Светлана Николаевна

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам
по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»

В авторской редакции
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 17.11.16. Формат 60х84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 6,045. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 80 экз.
Заказ № 728.

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