

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

Материаловедение

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика и
организация производства (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 669.01
ББК 30.3
М 34

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «19» февраля 2020 г.
протокол № 7.

Составители: д-р техн. наук, проф. Ф. Г. Ловшенко;
канд. техн. наук., доц. А. И. Хабибуллин

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. Д. Камчицкая

В методических рекомендациях содержатся основные теоретические положения и методические указания к выполнению практических работ по курсу «Материаловедение».

Учебно-методическое издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 24.06.2020 . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,55 . Уч.-из. л. 2,69 . Тираж 36 экз. Заказ № 304.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019 г.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Практическая работа № 1. Определение твердости металлов и сплавов.....	4
2 Практическая работа № 2. Макроскопический метод исследования металлов и сплавов	7
3 Практическая работа № 3. Структура и свойства углеродистой стали в равновесном состоянии	13
4 Практическая работа № 4. Изучение зависимости между структурой и свойствами чугунов.....	18
5 Практическая работа № 5. Изучение зависимости между структурой и свойствами стали после различных видов термической обработки.....	23
6 Практическая работа № 6. Изучение зависимости между структурой и свойствами легированных сталей	29
7 Практическая работа № 7. Цветные металлы и сплавы.....	34
8 Практическая работа № 8. Пластические массы.....	37
Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ...	43
Список литературы.....	43

1 Практическая работа № 1. Определение твердости металлов и сплавов

Цель работы: ознакомление с основными методами измерения твердости и микротвердости; приобретение навыков в работе с приборами для измерения твердости.

Оборудование и инструмент: твердомер Бринелля (ТБ-3000), твердомер Роквелла (ТР 5014), твердомер Виккерса (ИТ 5010-01).

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое.

Измерение твердости вследствие быстроты и простоты осуществления, а также возможности без разрушения изделия судить о его свойствах получило широкое применение для контроля качества металла в металлических изделиях и деталях. Наибольшее применение в промышленности нашли статические методы по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу, схема реализации которых приведена на рисунке 1.1.

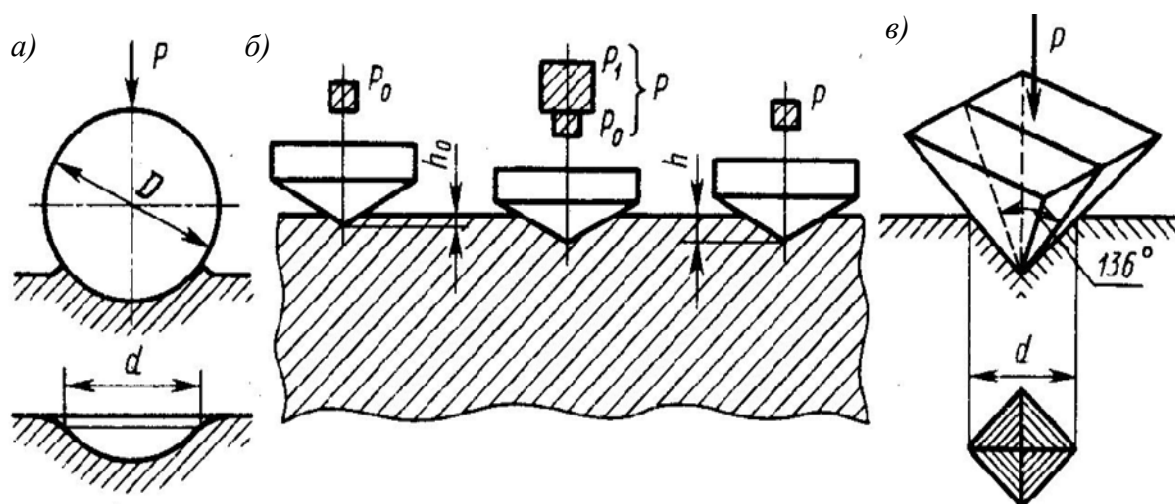


Рисунок 1.1 – Схема определения твердости по Бринеллю (а), Роквеллу (б), Виккерсу (в)

Определение твердости по Бринеллю. Сущность метода заключается во вдавливании стального шарика диаметром D , мм, в образец (изделие) под действием нагрузки F , Н, и измерении диаметра отпечатка d , мм, после снятия испытательной нагрузки (см. рисунок 1.1, а).

Твердость определяют как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка по формуле

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где F – прилагаемая нагрузка, Н;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Обычно определение твердости осуществляется шариком диаметром 10,0 мм при нагрузке 29420 Н и продолжительностью выдержки под нагрузкой 10 с. В этом случае твердость обозначается цифрами, характеризующими ее величину, и буквами HB, например: 170 HB. При других условиях испытаний после букв HB указываются условия испытания в следующем порядке: D , F и время выдержки под нагрузкой (в секундах), например: 190 HB 5/7350/20.

Между временным сопротивлением σ_B и числом твердости HB существует зависимость: для стали и алюминиевых сплавов $\sigma_B \approx 0,33$ HB, для медных сплавов $\sigma_B \approx 0,45$ HB.

Метод Бринелля не рекомендуется применять для стали с твердостью более 450 HB, а для цветных металлов – более 200 HB. При использовании вместо стального шарика твердосплавного предельное значение твердости не должно превышать 650 единиц. В этом случае в обозначение твердости вводится дополнительно буква W, например: 570 HBW.

Определение твердости по Роквеллу. Сущность метода заключается во вдавливании наконечника с алмазным конусом с углом у вершины 120° (шкалы А и С) или со стальным шариком диаметром 1,58 мм (шкала В) в испытуемый образец под действием последовательно прилагаемых предварительной F_0 и основной F_1 нагрузок и измерений остаточного увеличения глубины внедрения наконечника e ($e = (h - h_0) / 0,002$) после снятия основной нагрузки в единицах измерения 0,002 мм. При испытании с использованием шкалы А нагрузка составляет 588 Н, шкалы В – 980 Н, шкалы С – 1470 Н.

Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рисунке 1, б. Под предварительной нагрузкой F_0 индикатор прибора вдавливается в образец на глубину h_0 . Затем на испытуемый образец подается полная нагрузка $F = F_0 + F_1$, и глубина погружения наконечника возрастает. После снятия основной нагрузки F_1 прибор показывает число твердости по Роквеллу HR. Твердость является величиной, обратной глубине вдавливания. Единица твердости по Роквеллу – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индикатора на 0,002 мм.

Числа твердости определяются по формулам

$$HRC (A) = 100 - e; HRB = 180 - e.$$

Шкала А используется для измерения твердости очень твердых, но хрупких материалов, а также для тонких и твердых поверхностных слоев

(0,5...1,0 мм). По шкале В определяют твердость сравнительно мягких (незакаленных) материалов (< 400 НВ). Шкала С используется для испытания материалов, имеющих высокую твердость (после закалки) (> 450 НВ).

Пределы измерения твердости по шкале А – 70...85 ед., шкале В – 25...100 ед., шкале С – 22...63 ед. Условная запись твердости для разных шкал – HRA, HRB, HRC. Например, 60 HRC (твердость 60 ед. по шкале С). В настоящее время применяется обозначение HRCэ – это твердость, воспроизводимая государственным специальным эталоном.

Твердость по Виккерсу. Метод заключается во вдавливании алмазного наконечника, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды (угол при вершине 136°), в образец под действием нагрузки F и измерении диагонали отпечатка d (в миллиметрах), оставшегося после снятия нагрузки (см. рисунок 1, в). Нагрузка может изменяться в пределах 9,8...980 Н.

Твердость по Виккерсу определяется по формуле

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}.$$

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка.

В стандартных условиях испытаний (при нагрузке 294 Н, времени выдержки 15 с) обозначение твердости по Виккерсу выглядит как, например, 430 HV. При других условиях испытаний указывается нагрузка и продолжительность выдержки под нагрузкой (например, 250 HV 10/40).

Методы НВ и HRB применяются для мягких материалов, HRC – для твердых, HRA – для твердых и тонких покрытий. Метод Виккерса является универсальным.

Твердость типовых изделий из углеродистых сталей приведена в таблице 1.2. Если твердость указанных изделий не соответствует рекомендуемым значениям, можно сделать вывод о браке термической обработки или особых условиях их эксплуатации.

Таблица 1.2 – Твердость типовых изделий из углеродистых сталей

Изделие	Рекомендуемая твердость, HRC
Ответственные детали машин (валы, оси, шатуны, тяги и т. д.)	25
Упругие элементы (пружины, рессоры)	40
Инструменты, подвергаемые ударным нагрузкам (зубила, топоры, молотки и т. д.)	50
Ножи общего назначения	52...58
Металлорежущий инструмент (сверла, фрезы, метчики, резцы, пилы)	60...65

Контрольные вопросы

- 1 Укажите области применения различных методов.
- 2 Какие твердости у типовых изделий.
- 3 По какой формуле производится расчет твердости по Бринеллю и др. методам?
- 4 Укажите, на каком приборе следует определять твердость материала, из которого изготовлены консервные банки (гаечные ключи, ножи, лезвия бритв, медная фольга).

2 Практическая работа № 2. Макроскопический метод исследования металлов и сплавов

Цель работы: ознакомление с методикой проведения макроскопического анализа; изучение поверхностей деталей, изломов, макрошлифов; выявление макродефектов и причин разрушения металлов; приобретение навыков зарисовки макроструктур.

Изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом, а также при помощи лупы носит название макроскопического метода исследования, или макроанализа. Строение металлов, изучаемое при помощи макроанализа, называется макроструктурой. Макроанализ дает представление об общем строении металла, позволяет оценить его качество после различных видов обработки: литья, обработки давлением и пр. С помощью макроанализа можно определить:

- различные поверхностные дефекты заготовок;
- вид излома – вязкий, хрупкий, нафталинистый, усталостный и др.;
- нарушения сплошности металла – усадочная рыхлость, центральная пористость, свищи, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри) и др.;
- химическую неоднородность литого металла (ликвацию) и присутствие в нем грубых инородных включений, волокнистую структуру деформированного металла.

Макроанализ излома металла. По виду излома устанавливают характер и причины разрушения изделия, неоднородность структуры, обусловленную термической и химико-термической обработкой (толщину цементованного, закаленного, обезуглероженного слоя) и другие особенности строения.

Хрупкий излом имеет кристаллическое строение. В нем обычно можно видеть форму и размер зерен металла. Такой излом проходит или по границам зерен (межкристаллический) или по зернам (транскристаллический) (рисунок 2.1). Его разновидностями являются нафталинистый, камневидный (рисунок 2.2).

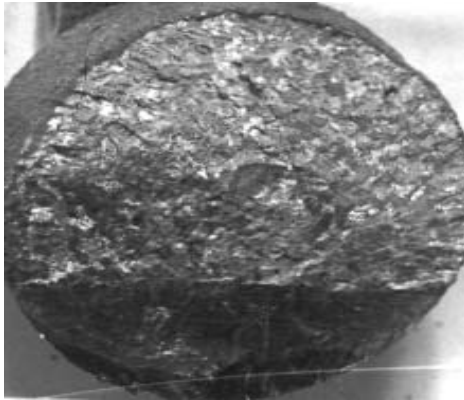


Рисунок 2.1 – Нафталинистый излом

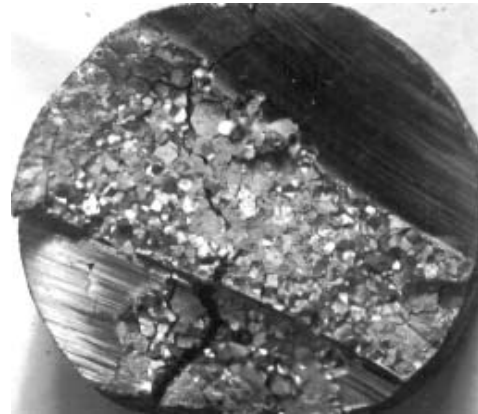


Рисунок 2.2 – Камневидный излом

Вязкий излом имеет волокнистое строение. Из-за значительной степени пластической деформации форма и размеры зерен не различаются.

Усталостный излом имеет две зоны разрушения: усталостную с мелкозернистым, фарфоровидным, часто ступенчато-слоистым строением и зону обычного (вязкого или хрупкого) разрушения.

Макроанализ шлифов. Образцы (*темплеты*) для макроанализа вырезают из наиболее характерных участков заготовок.

Обработка образцов заключается в шлифовании их с охлаждением на станках или с помощью тонкой шлифовальной бумаги. Ряд дефектов макроструктуры уже может быть рассмотрен на подготовленном таким образом макрошлифе, но в большинстве случаев требуются дополнительные меры для их выявления. Они делятся на три основные группы:

1) метод глубокого травления, позволяющий выявить трещины различного типа, обезуглероженный или цементованный слой и т. д.;

2) метод поверхностного травления, позволяющий выявить отдельные детали структуры (размеры зерна, неоднородность структуры). В состав реактивов входят различные кислоты, соли и др. вещества;

3) метод отпечатков, позволяющий получить изображение макроструктуры на фотобумаге, фотопленке или материи. При этом материал с нанесённым на него реактивом прижимается к поверхности шлифа, реактив реагирует с определенными структурными составляющими, в результате чего происходит характерное окрашивание определенных участков. Этим методом определяют в сталях количество, размер и форму зернистых включений, распределение оксидных включений, фосфора.

Дефекты макроструктуры

Центральная пористость (усадочная) в литой заготовке (рисунки 2.3 и 2.4).

Причины возникновения: не обеспечивается достаточное поступление жидкого металла в объемы, где заканчивается затвердевание.

Предупреждение: оптимальная температура металла при разливке, соблюдение скорости разливки.

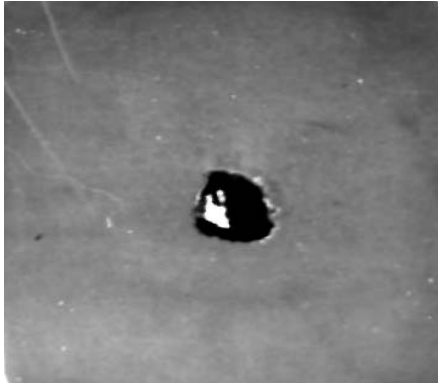


Рисунок 2.3 – Единичная пора

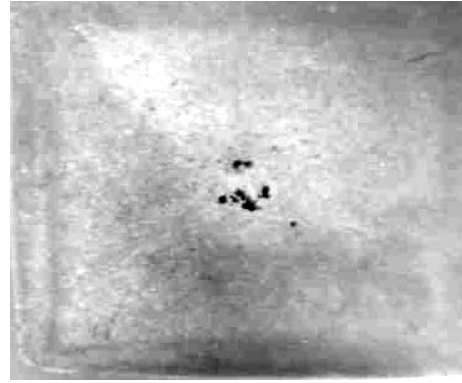


Рисунок 2.4 – Скопление пор

Примечание – Если усадочные поры не вскрыты, то при горячей деформации они завариваются.

Усадочная раковина – полость, возникающая в прибыльной части слитка вследствие усадки стали (см. образец 1 (здесь и далее все образцы на используемом в работе стенде)).

Пористость по оси – мелкие пустоты, не заварившиеся при горячей обработке давлением слитка (рисунок 2.5). На макрошлифе пористость выявляется в виде темных точек различного размера. Пористость оценивается соответствующим баллом. Пористость по сечению – мелкие травящиеся точки, расположенные по всему сечению макрошлифа (рисунок 2.6).

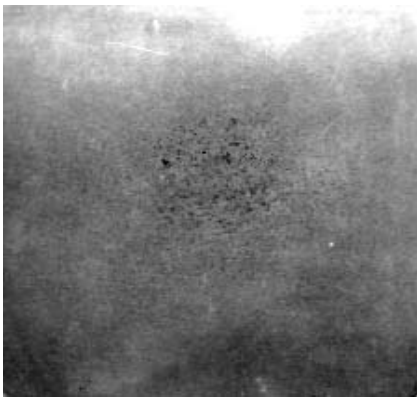


Рисунок 2.5 – Пористость по оси



Рисунок 2.6 – Пористость по сечению

Причины возникновения: недостаточное раскисление стали, при быстром затвердевании из расплава не полностью удалились газы.

Ковочные трещины. Неверный режимковки может вызвать появление ковочных трещин, которые появляются внутри заготовки около осевой зоны в виде трещин по диагоналям (ковочного креста), либо нескольких трещин, направленных от оси заготовки в стороны (см. образец 2).

Рванины – раскрытые разрывы, образовавшиеся вследствие пониженной пластичности металла, расположенные поперек направления деформации (см. образец 3). Причиной понижения пластичности может являться перегрев металла или слишком низкая температура заготовки при горячей обработке давлением. Дефекты имеют вид разветвленных разрывов с окисленной поверхностью.

Осевые интеркристаллитные трещины в отличие от ковочных более прямолинейные и широкие. В изломе межкристаллитные трещины имеют вид грубых окисленных расслоений. Вследствие чрезмерного повышения температуры, вызывающего диффузию кислорода вдоль границ зерен, возникает явление пережога. На темплете пережог выглядит в виде сильно разветвленных трещин, часто расположенных в виде сетки (рисунок 2.7).

Внутренние трещины от напряжений обусловлены чрезмерно высокими внутренними напряжениями, возникающими в процессе формирования заготовки, и пониженной прочностью и пластичностью стали в различных температурных интервалах. Диагональные трещины в отливках (рисунок 2.8) возникают вследствие неравномерного охлаждения слитка в кристаллизаторе.

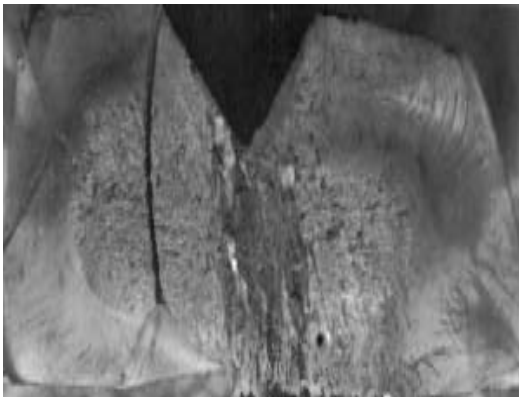


Рисунок 2.7 – Пережог

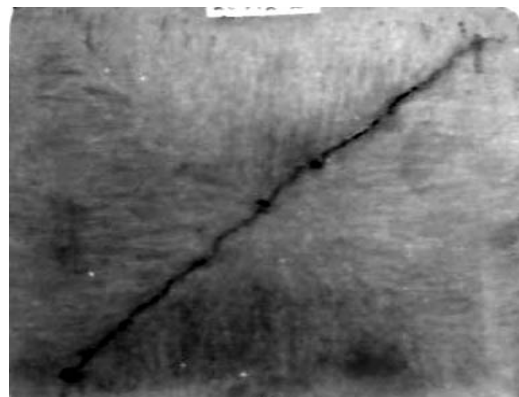


Рисунок 2.8 – Диагональные трещины

Примечание – Трещины, не выходящие на поверхность заготовки, в дальнейшем завариваются при горячей деформации, т. к. границы их не окислены.

Меры предупреждения: регламентировать содержание вредных примесей в металле, соблюдать температурный интервал разливки, оптимизировать процесс ОМД (не превышать предельно допустимые значения скорости и степени деформации).

Флокены – тонкие извилистые трещины длиной до 30 мм, образующиеся в стали при повышенном содержании водорода (рисунок 2.9). В изломе флокены выявляются в виде округлых или эллиптических пятен серебристого или светлого оттенка. При последующей горячей деформации в заготовке могут образоваться скворечники (рисунок 2.10).

Шлифовочно-травильные трещины являются результатом слишком сильного прижима металла при шлифовании очень твердым абразивным кругом и недостаточного охлаждения металла. Они имеют вид сетки, расположенной перпендикулярно к направлению шлифовки.

Свищи в прокате представляют собой крупные газовые включения, располагающиеся отдельно или группами по сечению заготовки. Выявляются в виде отдельных крупных пустот и пор круглой, овальной или вытянутой формы (рисунок 2.11).

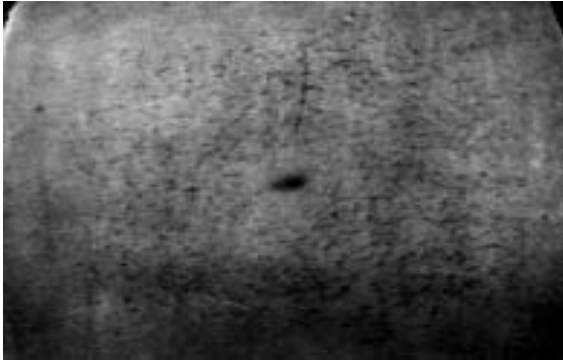


Рисунок 2.9 – Флокены

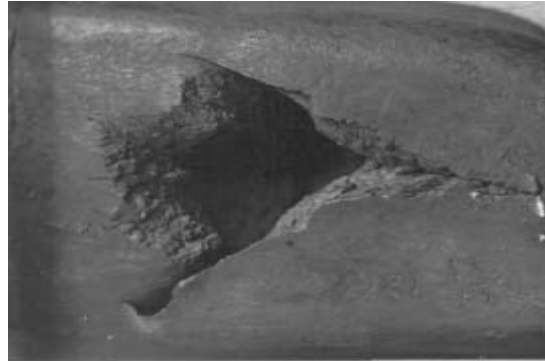


Рисунок 2.10 – Скворечник

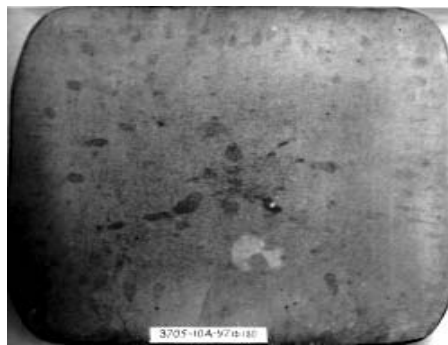


Рисунок 2.11 – Свищи

Инородные включения – кусочки различного рода нерастворившихся ферросплавов, утеплительных засыпок, шлака или случайно попавших в слиток частичек окисленного металла. Имеют различную с основным металлом травимость. В прокате обнаруживаются в виде волосовин (рисунок 2.12), неправильных по форме полостей, заполненных и окруженных неметаллическими включениями (рисунок 2.13), расслоений (рисунок 2.14). Классификация дефекта подтверждается анализом химического состава и макроструктуры.

Ликвация – неоднородность отдельных участков металла по химическому составу и структуре. **Ликвационный квадрат (или круг)** представляет собой контуры ликвации, определяемые конфигурацией слитка (рисунок 2.15); выглядит как полоска металла, травящаяся более интенсивно, чем остальная часть макрошлифа.



Рисунок 2.12 – Волосовины

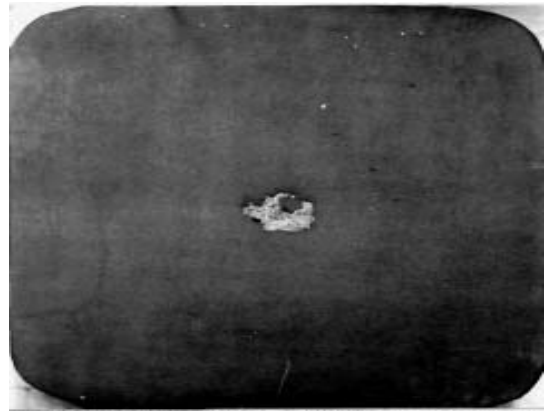


Рисунок 2.13 – Включения шамота

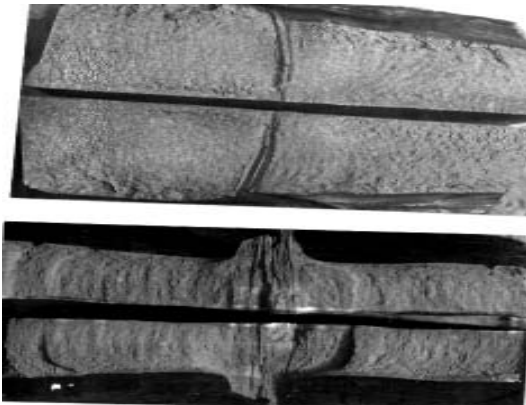


Рисунок 2.14 – Расслоения

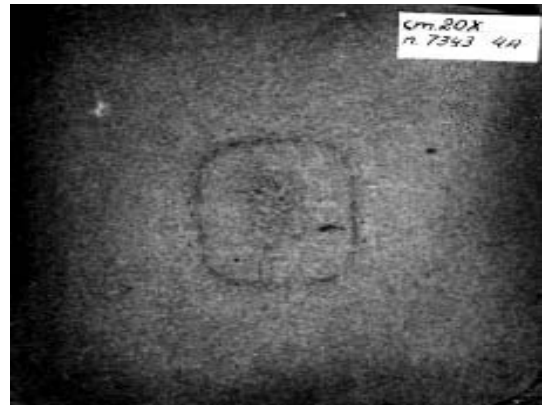


Рисунок 2.15 – Ликвация

Дефекты поверхности

Трещины от напряжений – угловые, поперечные, продольные – обусловлены искажением профиля, высокой скоростью разливки металла, высоким содержанием вредных примесей, неравномерным затвердеванием, трением слитка в кристаллизаторе и др. причинами, вызывающими высокие напряжения.

Поры возникают из-за избыточной влажности, газовыделения из формы или смазки кристаллизатора, недостаточной раскисленности стали.

Загрязнения на поверхности заготовки, вкатанные металлические и неметаллические частицы – скопления неметаллических включений в виде пристывших, прикатанных кусочков шлака, металла или инородных частиц (см. образец 4 на стенде), попавших в металл вследствие различных причин.

Отслоения возникают на поверхности проката из-за наличия газовых пузырей, неметаллических включений, усадочной раковины и т. д. (см. образец 5).

Рябизна – углубления от вдавленной окалины, образовавшиеся при ковке, прокатке или правке металла (см. образец 6).

Закат – прикатанный продольный выступ металла образовавшийся в результате вдавливания уса, подреза (см. образец 7).

Дефекты формы

Раздутие (выпуклость) заготовки возникает из-за деформации корки заготовки под действием давления жидкого металла при недостаточном охлаждении в кристаллизаторе (см. образец 8).

Отклонения от формы – овал (вместо окружности), неквадратность (см. образец 9) и др.

Усы – продольные выступы на поверхности профилей проката, возникающие из-за неправильной калибровки, износа валка, низкой температуры деформируемого металла (см. образец 10).

В сварных соединениях могут иметь место следующие дефекты: горячие трещины (см. образец 11), холодные трещины, зоны несплавления, непровары (см. образец 12), подрезы, наплывы, прожоги и др.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определения основных видов дефектов.
- 2 Указать причины возникновения типовых дефектов.
- 3 Чем отличаются различные виды трещин?
- 4 Как влияют типовые дефекты на эксплуатационные свойства изделий?

Задание к работе

1 Изучить сущность, возможности и методы макроанализа, основные виды макродефектов заготовок и сварных соединений.

2 Для выданного образца:

- зарисовать дефект и определить его вид (дать описание);
- установить причину возникновения дефекта;
- дать рекомендации для устранения дефекта;
- описать влияние дефекта на эксплуатационные характеристики металлоизделий.

3 Практическая работа № 3. Структура и свойства углеродистой стали в равновесном состоянии

Цель работы: изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов; анализ превращений, происходящих в сплавах при охлаждениях и нагревах; определение фазового и структурного состояния сплавов в зависимости от их состава и температуры.

Оборудование и инструмент: микроскоп металлографический ЛабоМет-1, видеокамера TOURCAM™, ПЭВМ ITEX™ MAXIMA.

Под *равновесным* понимается такое состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния. Это имеет место только при очень малых скоростях охлаждения (нагрева). Превращения, протекающие в сталях в равновесном состоянии, описываются диаграммой «железо-цементит», представленной на рисунке 3.1.

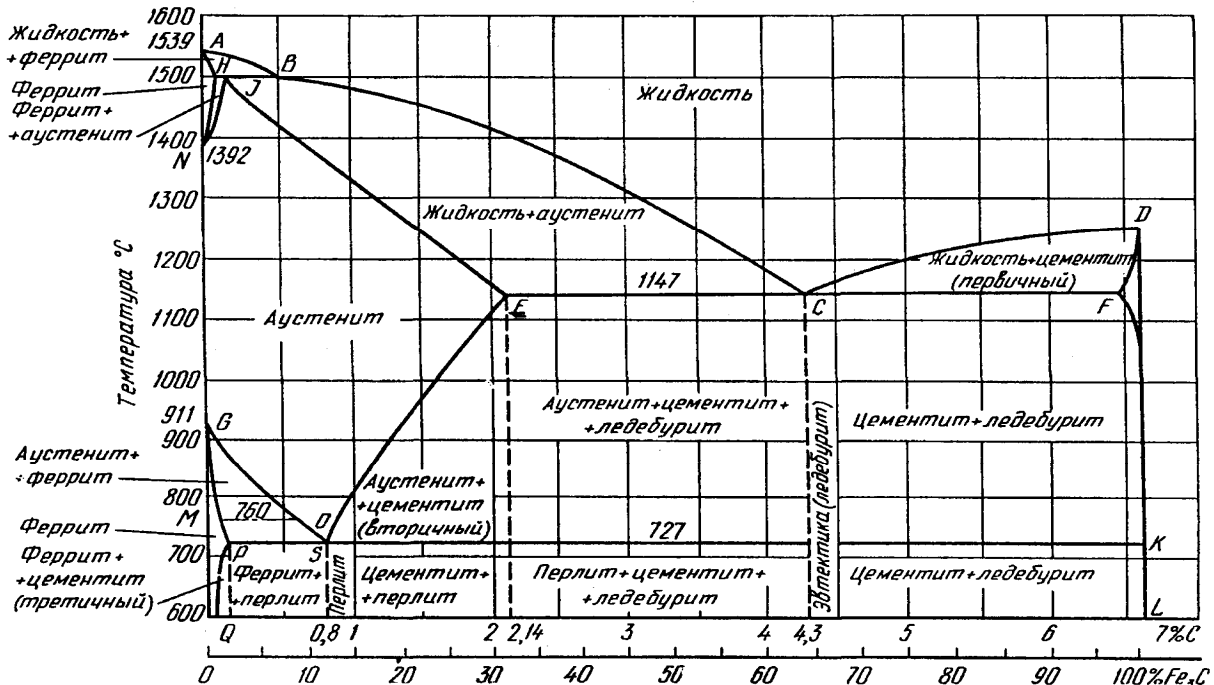


Рисунок 3.1 – Диаграмма «железо–цементит»

В железоуглеродистых сплавах могут присутствовать следующие твердые фазы: феррит, аустенит, цементит.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе, имеющем объемно-центрированную кубическую решетку. Максимальная растворимость в высокотемпературной области составляет 0,10 % – точка *H*, в низкотемпературной области 0,02 % – точка *P*. Содержание углерода при комнатной температуре – 0,01 %. Феррит мягок и пластичен ($\sigma_B = 200...300$ МПа, $\delta = 20...50$ %, $80...100$ НВ).

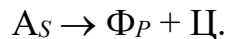
Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе, имеющем гранецентрированную кубическую решетку. Максимальная растворимость углерода в аустените 2,14 % – точка *E*. По механическим свойствам аустенит близок к ферриту. Горячую обработку давлением проводят в области существования аустенита (так как однофазный твердый раствор характеризуется высокой пластичностью).

Цементит – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа, химическая формула которого Fe_3C . Содержание углерода в цементите равно 6,67 %. Цементит обладает высокой твердостью (≈ 800 НВ) и хрупкостью. Он имеет сложную ромбическую решетку.

Выше линии ликвидус ($ABCD$) существует одна жидкая фаза, ниже линии солидус ($NJECF$) – только твердые фазы.

Ниже линий NJ и JE сплавы имеют однородную аустенитную структуру.

При температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ (линия PSK) сплавы претерпевают **эвтектоидное превращение**. При эвтектоидном превращении аустенит, имеющий при этой температуре концентрацию углерода, соответствующую точке S ($0,8\text{ \% C}$), распадается с образованием **эвтектоидной смеси** – перлита (феррита состава точки P и цементита):



Эвтектоидная смесь феррита и цементита, образующаяся в результате эвтектоидного распада аустенита, называется перлитом.

В сплавах с содержанием углерода менее $0,8\text{ \%}$ (точка S) эвтектоидному превращению предшествует выделение из аустенита феррита, которое протекает в интервале температур, ограниченных линиями GS и PS . При этом в оставшемся аустените концентрация углерода изменяется по линии GS . В сплавах с содержанием углерода более $0,8\text{ \%}$ (точка S) эвтектоидному превращению предшествует выделение из аустенита цементита. Выделение цементита протекает в интервале температур, ограниченных линиями ES и SK .

Железоуглеродистые сплавы в зависимости от содержания углерода делятся на три группы: **техническое железо, стали, чугуны.**

Техническое железо – это сплавы с содержанием углерода менее $0,02\text{ \%}$ (точка P). Как следует из диаграммы «железо-цементит», техническое железо имеет структуру феррита (рисунок 3.2, *а*).

Стали – это сплавы с содержанием углерода от $0,02\text{ \%}$ (точка P) до $2,14\text{ \%}$ (точка E). В структуре стали по мере увеличения содержания углерода возрастает доля цементита и уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твердости и прочности стали и снижению ее пластичности. В зависимости от содержания углерода стали по своей структуре делятся на **доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.**

Доэвтектоидные стали содержат от $0,02\text{ \%}$ углерода (точка P) до $0,8\text{ \%}$ углерода (точка S). Они имеют структуру феррита (светлые зерна) и перлита (темные зерна) (рисунок 3.2, *б, в*). С увеличением содержания углерода прямо пропорционально увеличивается содержание перлита. При концентрации углерода в стали $0,8\text{ \%}$ количество перлита равно 100 \% . Зная площадь, занимаемую перлитом, можно определить содержанием углерода в углеродистой стали:

$$C = \frac{A \times 0,8}{100},$$

где A – площадь, занимаемая перлитом.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода (точка *S*) и состоит из перлита (рисунок 3.2, *з*).

Заэвтектоидная сталь содержит от 0,8 % углерода до 2,14 % углерода (точка *E*). Ее структура состоит из перлита и цементита (рисунок 3.2, *д*).

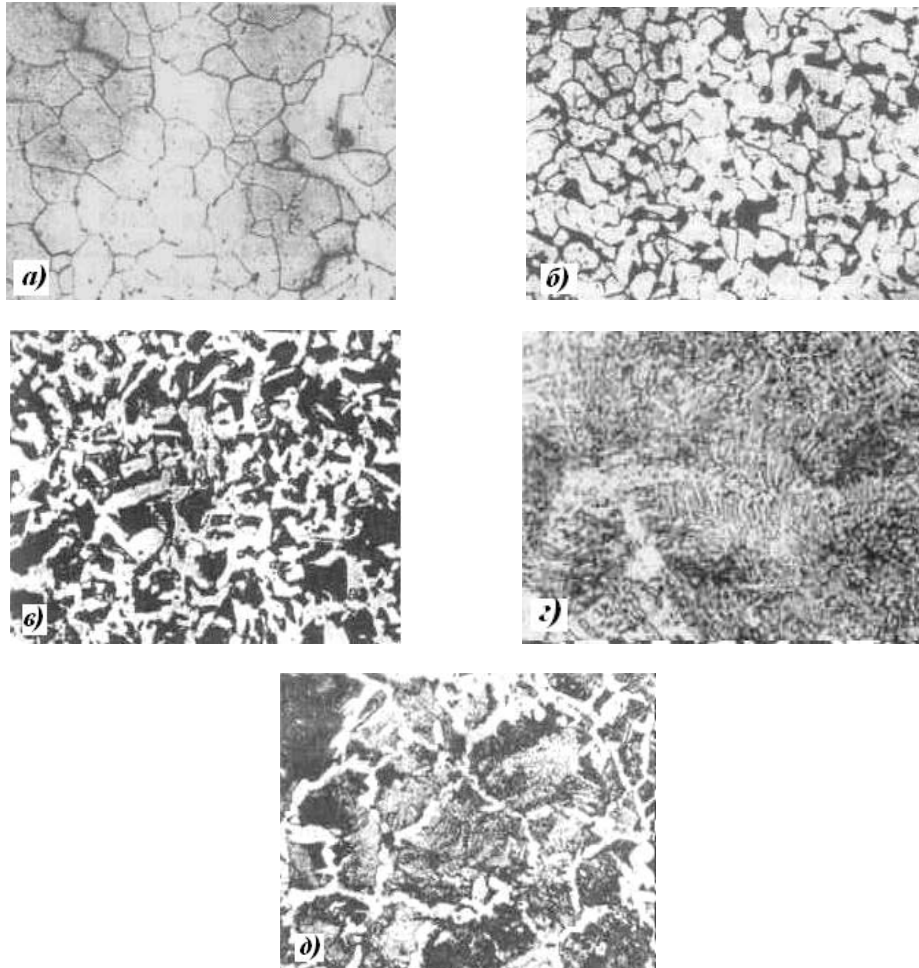


Рисунок 3.2 – Микроструктура технического железа (*а*), доэвтектоидных сталей с содержанием углерода 0,20 % (*б*) и 0,45 % (*в*), эвтектоидной (*з*) и заэвтектоидной (*д*) сталей

Таким образом, структура, а следовательно, и свойства стали определяются количеством углерода в ней. Доэвтектоидные стали, содержащие до 0,8 % углерода, являются **конструкционными**, предназначенными для изготовления деталей машин (машиностроительные стали), конструкций и сооружений (строительные стали).

Стали **обыкновенного качества**, наиболее дешевые, являются конструкционными сталями общего назначения и содержат до 0,07 % фосфора, 0,06 % серы, 0,05...0,50 % углерода. **По гарантируемым свойствам** они подразделяются на три группы – А, Б, В. В сталях группы А гарантируются механические свойства, группы Б – химический состав, группы В – механические свойства и химический состав.

Сталь группы А маркируется буквами Ст и номером 0, 1, 2, ... 6, например, Ст 1. В сталях группы Б перед буквами Ст ставится буква Б, например, БСт 2.

В сталях группы В перед буквами Ст ставится буква В, например, ВСтЗ. С увеличением условного номера повышается содержание углерода в стали, что приводит к увеличению прочностных свойств, к снижению пластичности и свариваемости.

Стали группы А применяются для изготовления рядового проката (швеллеров, уголков, листов, прутков, труб и др.), используемого для клепаных и болтовых конструкций, а также для малонагруженных деталей машин (валов, осей, зубчатых колес, болтов и т. д.), не подвергаемых нагреву в процессе обработки.

Стали группы Б применяются для изготовления изделий, подвергаемых нагреву (горячей обработке давлением, сварке, термической обработке).

Стали группы В применяются для изготовления сварных конструкций, подвергаемых расчетам на прочность.

В конце марки стали ставятся буквы «кп», «пс», «сп». Буквы «кп» показывают, что сталь кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная.

Качественная конструкционная сталь по сравнению со сталью общего назначения содержит вдвое меньше серы и фосфора и отличается более высокими механическими свойствами. Она маркируется цифрами, например, 08, 10, ... 80, показывающими содержание углерода в сотых долях процента. **По содержанию углерода** они делятся на низко-, средне-, и высокоуглеродистые.

Низкоуглеродистые стали, содержащие углерода до 0,25 %, обладают низкой прочностью, но высокой пластичностью и применяются для изготовления изделий листовой холодной штамповкой (05кп...10), а также для деталей, упрочняемых цементацией, и для различных сварных соединений (Сталь 15, Сталь 20). Кроме того, из них изготавливают болты, шпильки, гайки, валики и другие **детали неответственного назначения**.

Среднеуглеродистые стали марок 30...50 предназначаются для **ответственных деталей высокой прочности** с вязкой сердцевиной (зубчатые колеса, шатуны, коленчатые валы, распределительные валы, винты, оси, втулки, рычаги и др.). Как правило, изделия из этих сталей подвергаются улучшению (вид термической обработки).

Высокоуглеродистые стали 55...85 применяются для пружин, рессор. Детали из этих сталей подвергаются упрочнению методами термической обработки.

Для изготовления различных инструментов применяется **углеродистая инструментальная сталь**, содержащая углерода от 0,7 до 1,3 %. Эта сталь маркируется как У7...У13 (качественная) или У7А...У13А (высококачественная). Здесь «У» означает «углеродистая инструментальная сталь», число после «У» – содержание углерода в десятых долях процента (например, У12 содержит углерода 1,2 %). Стали марок У7 и У8 вязче других, т. к. не имеют в структуре цементита, и они идут на изготовление ударных инструментов – молотков, зубил, топоров, стамесок, долот, штампов и т. д.

Стали У10 и У11 имеют несколько меньшую вязкость и немного большую твердость (так как в их структуре содержится небольшое количество цементита) и используются для изготовления резцов, сверл, метчиков, лерок.

Стали У12 и У13 обладают низкой вязкостью и высокой твердостью и используются для изготовления инструмента, не испытывающего ударных нагрузок (напильников, бритв, рашпилей и т. п.).

Контрольные вопросы

1 Дать определение фазам, присутствующим в сталях, и указать содержание углерода в них.

2 Дать классификацию углеродистых сталей по качеству, содержанию углерода и назначению.

3 Изучить маркировку сталей и указать области применения перечисленных сталей: Ст2, БСт3, ВСт4, Ст6; 08кп, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80; У7, У8, У10А, У11, У12, У13.

Задание к работе

1 Зарисовать диаграмму «железо-цементит».

2 Дать определение: фазам и структурным составляющим в сталях (доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной).

3 Изучить и зарисовать микроструктуру предложенных шлифов; указать фазы и расставить структурные составляющие.

4 Практическая работа № 4. Изучение зависимости между структурой и свойствами чугунов

Цель работы: изучение микроструктуры чугунов разных марок, их свойств и области применения.

Оборудование и инструмент: микроскоп металлографический ЛабоМет-1, видеокамера TOUPCAM™, ПЭВМ ITEX™ MAXIMA.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода. Главным фактором, определяющим свойства, а следовательно, и область использования чугуна, является его структура. Наличие в его структуре эвтектики обуславливает высокие литейные свойства и низкую пластичность, поэтому в машиностроении чугун является одним из основных ***литейных*** материалов.

По структуре чугуны делят на белые (БЧ), серые (СЧ), ковкие (КЧ) и высокопрочные (ВЧ). Основной особенностью ***белых чугунов*** является то, что в них углерод связан в химическое соединение – цементит (Fe_3C). Структура белых чугунов описывается (рисунок 4.1) метастабильной диаграммой Fe– Fe_3C .

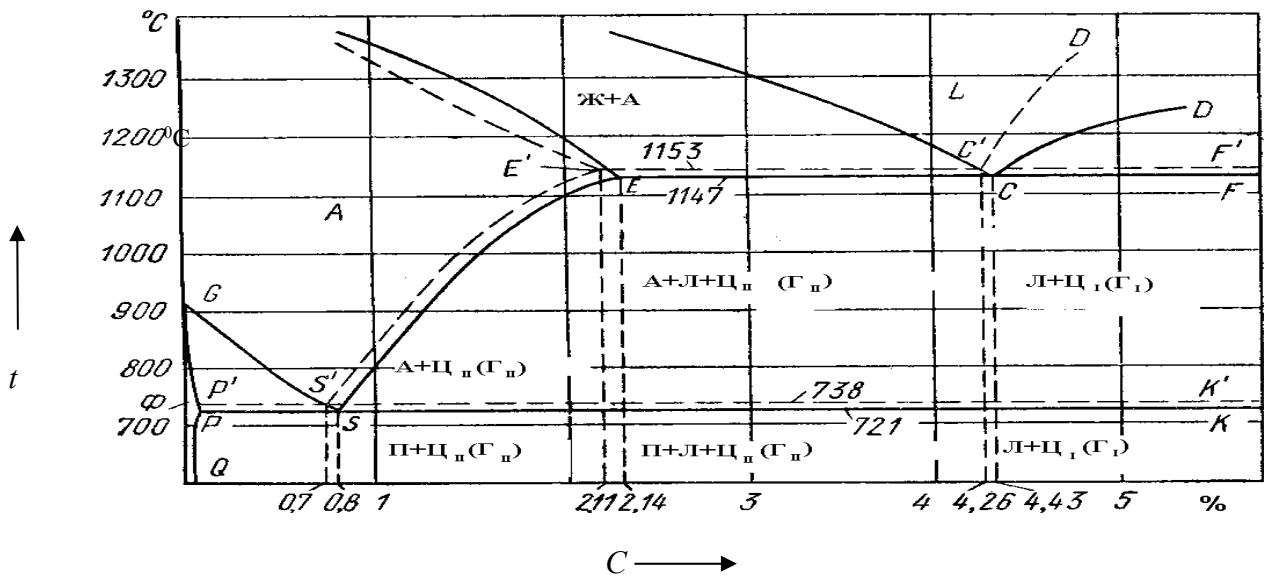
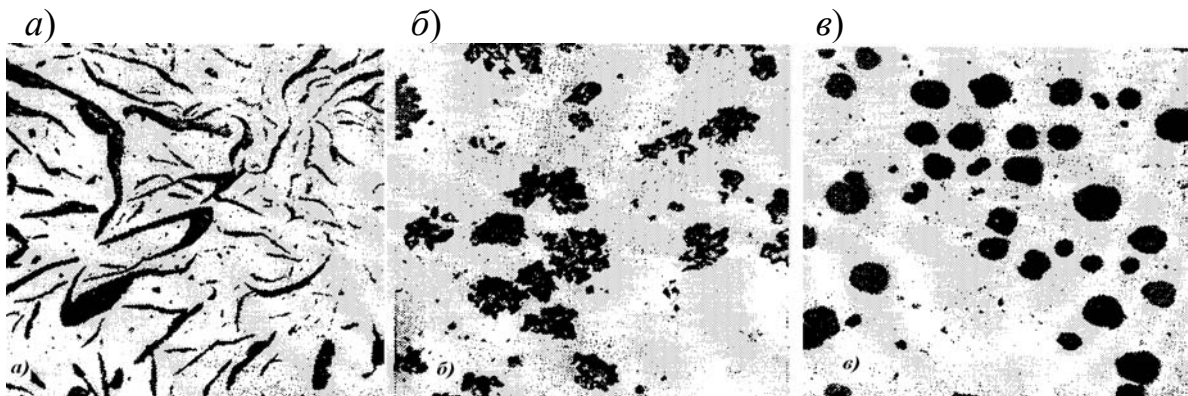


Рисунок 4.1 – Диаграмма Fe–C

Высокая твердость и хрупкость цементита не позволяют использовать белый чугун в качестве конструкционного материала. Образование белого чугуна происходит при больших скоростях охлаждения в соответствии со сплошными линиями диаграммы «Fe–Fe₃C» (например, при литье в кокиль), при малых скоростях охлаждения (например, при литье в землю), согласно штриховым линиям диаграммы «Fe – графит» образуются серые чугуны.

Чугуны подразделяются на доэвтектические ($C = 2,14 \dots 4,3 \%$), эвтектические ($C = 4,3 \%$) и заэвтектические ($C = 4,3 \dots 6,67 \%$).

В *сером, ковком и высокопрочном* чугунах весь углерод выделяется в виде графита. Причем в сером чугуне графит имеет пластинчатую форму, в ковком – хлопьевидную, в высокопрочном – шаровидную (рисунок 4.2).



а – пластинчатая в сером; б – хлопьевидная в ковком; в – шаровидная в высокопрочном

Рисунок 4.2 – Форма графитных включений в чугуне

Включения графита располагаются в металлической основе, которая в зависимости от условий получения материала может быть ферритной, перлитной или ферритно-перлитной. Схема структуры этих материалов приведена на рисунке 4.3. Установлено, что чем больше углерода и кремния в сплаве и чем ниже скорость его охлаждения, тем выше вероятность кристаллизации по диаграмме стабильного равновесия с образованием графитной эвтектики по схеме $J_{(C)} \rightarrow A_{(E)} + \Gamma$.


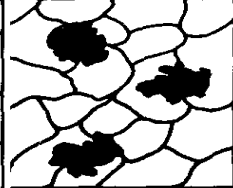
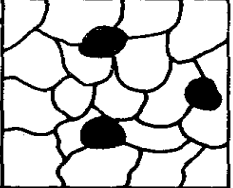



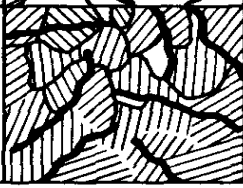
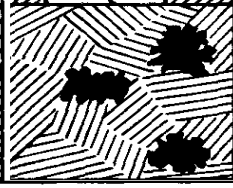
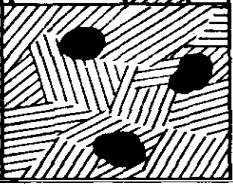
<i>Металлическая основа</i>	<i>Форма графитных включений</i>		
	<i>Пластинчатая</i>	<i>Хлопьевидная</i>	<i>Шаровидная</i>
<i>Феррит</i>			
<i>Феррит + перлит</i>			
<i>Перлит</i>			

Рисунок 4.3 – Классификация чугуна по структуре металлической основы и форме графитных включений

Серые чугуны содержат 3,0...3,7 % С; 1,2...2,6 % Si. Высокое содержание кремния в сером чугуне объясняется тем, что кремний является сильным графитообразующим элементом. Растворяясь в аустените, кремний способствует уменьшению растворимости углерода в нем, в результате жидкая фаза обогащается углеродом, и процесс образования графита облегчается. При конструировании деталей машин следует учитывать, что серые чугуны работают на сжатие лучше, чем на растяжение. Они мало чувствительны к надрезам при циклическом нагружении, хорошо поглощают колебания при вибрациях, обладают высокими антифрикционными свойствами из-за смазывающей способности графита, хорошо обрабатываются резанием, дешевы и просты в изготовлении.

Отливки изготавливают из серого чугуна марок СЧ10...СЧ35. Цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм². Чугун СЧ10 – ферритный, СЧ15, СЧ18, СЧ20 – ферритно-перлитные, начиная с СЧ25 – перлитные.

Из ферритно-перлитных чугунов в автомобилестроении изготавливают тормозные барабаны, крышки и др.; из перлитных – блоки цилиндров, гильзы цилиндров, маховики и др. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы, шпиндельные бабки и пр).

Высокопрочный чугун получают модифицированием (микролегированием) жидкого чугуна присадками (0,2 % магния, церия или иттрия от массы чугуна). Модифицирование приводит к образованию графита шаровидной формы, негативное влияние которого на прочность значительно ниже, чем пластинчатого графита, т. к. концентрация напряжений в зоне надреза металлической ос-

новы графитовыми включениями обратно пропорциональна радиусу скругления (рисунок 4.4). Химический состав высокопрочного чугуна выбирается в зависимости от толщины стенки отливки (чем тоньше стенка, тем больше скорость охлаждения, тем больше углерода и кремния во избежание образования цементита).

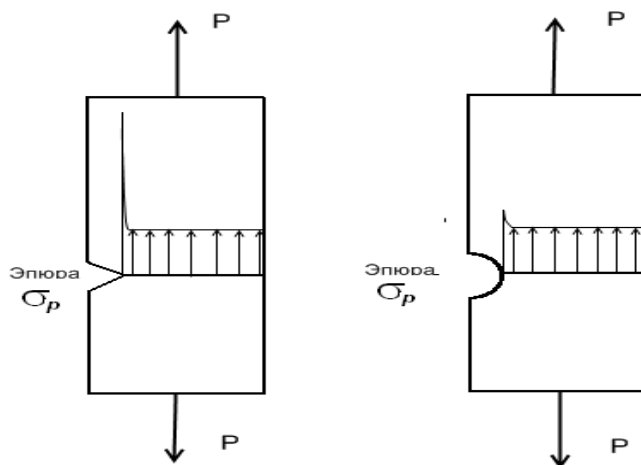


Рисунок 4.4 – Влияние формы надреза металлической основы на величину внутренних напряжений

Отливки изготавливают из высокопрочного чугуна марок ВЧ35 ...ВЧ120. Высокопрочный чугун широко применяется в практике взамен стального литья, поковок, штамповок, обеспечивая надежность и долговечность изделий в различных режимах эксплуатации. Отличительные особенности ВЧ в сравнении со сталью – более высокое отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении, равное 0,80 (против 0,50 для стали); низкая чувствительность к концентраторам напряжений; повышенная (до 3,5 раз) циклическая вязкость и другие – позволяют считать этот конструкционный материал более эффективным, чем сталь, особенно в условиях действия динамических нагрузок.

Широкое использование ВЧ в деталях машин, наряду с их надежностью, является мощным резервом снижения расхода материалов, себестоимости изделий и улучшения показателей их работы. В мировой практике ВЧ применяют для литья блоков цилиндров, шатунов, головок блоков, тормозных барабанов, дисков сцепления, суппортов тормозных систем, поршневых колец, коленчатых и распределительных валов, деталей трансмиссии, зубчатых колес и ряда других деталей. Столь широкое применение ВЧ обусловлено уникальным сочетанием физико-механических и литейных свойств, превосходящих свойства многих сталей. Например, стоимость коленчатого вала, изготовленного из ВЧ в 2 раза меньше, при 3-кратном увеличении срока службы.

Ковкий чугун получают путем отжига белого доэвтектического чугуна. Отливку подвергают графитизирующему отжигу, в процессе которого неустойчивая фаза – цементит Fe_3C – распадается с образованием аустенита и графита хлопьевидной формы. Отжиг состоит из двух стадий (рисунок 4.5). Первая осуществляется при температуре $t \approx 1000$ °С. Длительность первой стадии от-

жиги (≈ 8 ч) должна обеспечить полный распад цементита. Металлическая основа чугуна формируется на второй стадии отжига при эвтектоидном превращении.

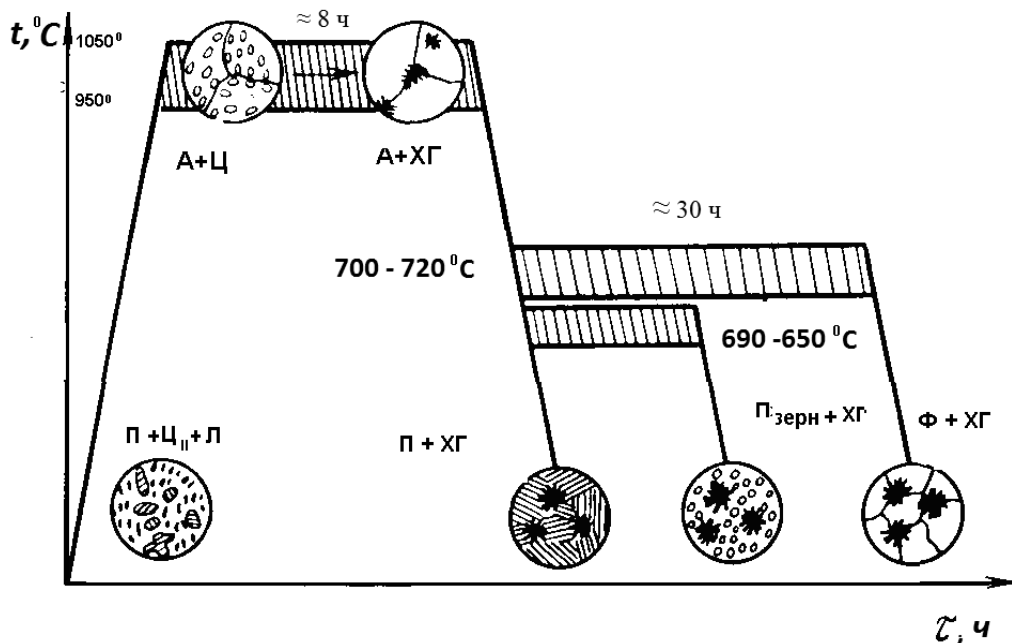


Рисунок 4.5 – График отжига белого чугуна на ковкий

В случае непрерывного охлаждения отливки в области эвтектоидной температуры ($720\text{ }^{\circ}\text{C}$) аустенит распадается на перлит пластинчатый. Получается **ковкий чугун с перлитной металлической основой**. Он обладает высокими твердостью (до 300 НВ) и прочностью ($\sigma_B = 800$ МПа) в сочетании с небольшой пластичностью ($\delta = 3,0 \dots 1,5\%$). Для повышения пластичности при сохранении высокой прочности проводится непродолжительная ($2 \dots 4$ ч) изотермическая выдержка чугуна при температурах $690 \dots 650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это вторая стадия отжига, представляющая собой в данном случае отжиг на зернистый перлит. Перлит пластинчатый переходит в перлит зернистый путем сфероидизации (округления) пластин цементита.

Наряду с ковким чугуном, имеющим *перлитную* основу, широко распространен в машиностроении *ферритный ковкий чугун*, характеризующийся высокой пластичностью ($\delta = 12\%$) и низкой прочностью ($\sigma_B = 350$ МПа). Ферритная основа чугуна образуется в процессе длительной изотермической выдержки (≈ 30 ч) при $720 \dots 700\text{ }^{\circ}\text{C}$. На этом этапе цементит, входящий в состав перлита распадается на $\Phi + \Gamma$.

Выпускаются следующие марки ковких чугунов: КЧ30-12, КЧ80-1,5. Первое число соответствует пределу прочности при растяжении σ_B , второе число – относительному удлинению δ . Марки, имеющие повышенные значения δ , относятся к ферритным чугунам, с низкими значениями – к перлитным.

Перечень литых изделий из КЧ весьма разнообразен (пробки, гайки, втулки, фланцы, кронштейны, ступицы, тормозные колодки, коленчатые валы и др.). Существенным недостатком технологического процесса получения КЧ является длительный отжиг отливок.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислить преимущества чугунов перед сталями.
- 2 Дать классификацию чугунов, описать процесс их структурообразования.
- 3 Изучить маркировку чугунов и указать области применения перечисленных марок: СЧ15, СЧ20, СЧ28, СЧ30, СЧ35; КЧ30-12, КЧ60-3, КЧ80-1,5; ВЧ120.

Задание к работе

- 1 Вычертить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов, ее участок, соответствующий чугунам.
- 2 Дать характеристику чугунам, зарисовать микроструктуру. Привести марки СЧ, КЧ и ВЧ, назвать их механические свойства и область применения.
- 3 Дать характеристику ковким чугунам. Описать способ их получения, начертить график отжига. Объяснить формирование структуры КЧ с ферритной металлической основой.

5 Практическая работа № 5. Изучение зависимости между структурой и свойствами стали после различных видов термической обработки

Цель работы: изучение методики назначения режимов термической обработки и основных фазовых превращений, протекающих в сталях при отжиге, нормализации, закалке и отпуске.

Оборудование и инструмент: микроскоп металлографический ЛабоМет-1, видеокамера TOUPCAM™, ПЭВМ ITEX™ MAXIMA.

Термической обработкой называют технологические процессы, состоящие из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств. При термической обработке стали протекают фазовые превращения. Они вызваны тем, что вследствие изменившихся условий (температуры) новое состояние оказывается более устойчивым, чем старое, т. к. обладает меньшим запасом свободной энергии. Характер фазовых превращений зависит от скорости охлаждения. Превращения, протекающие при медленном охлаждении, близкие к равновесным описываются диаграммой «железо–цементит». Диаграмма является также основой для изучения термической обработки. Она указывает, каким видам термической обработки может быть подвергнут сплав и до каких температур требуется производить нагрев. Участок диаграммы «железо–цементит», необходимый для назначения термической обработки стали, представлен на рисунке 5.1.

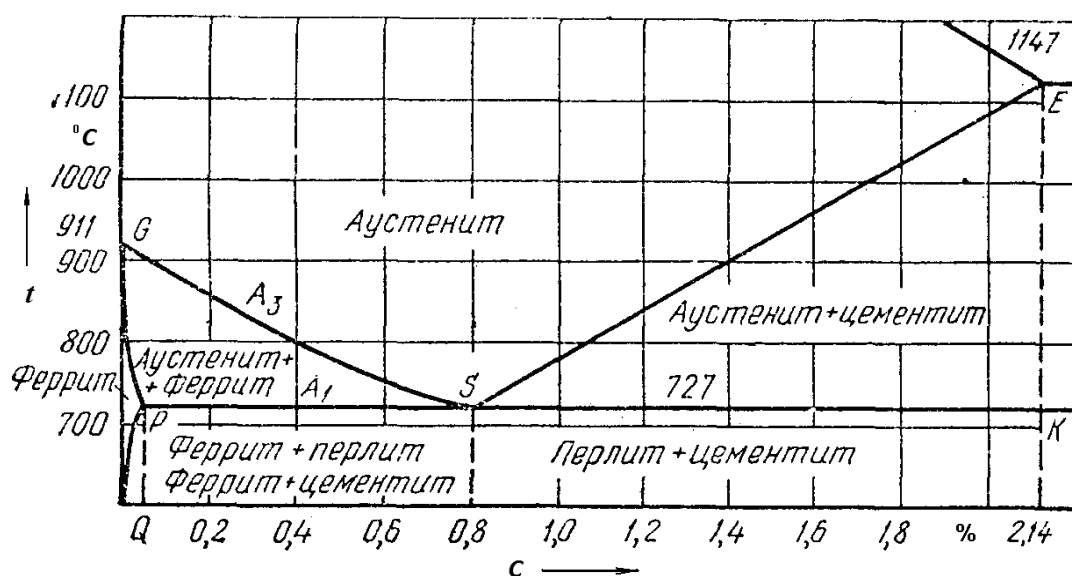


Рисунок 5.1 – «Стальной» участок диаграммы «железо–цементит»

Приведем общепринятые обозначения критических точек, необходимых для термической обработки стали. Критические точки обозначаются буквой А (фр. *Arret* – остановка). Точка A_1 лежит на линии PSK и соответствует превращению аустенит – перлит. Точка A_3 лежит на линии GSE и соответствует началу выделения (или окончанию растворения) феррита в доэвтектоидных сталях или цементита вторичного в заэвтектоидных сталях. Основными видами термической обработки стали являются **отжиг первого рода, отжиг второго рода, закалка, отпуск**.

Отжиг первого рода. Отличительная особенность отжига первого рода состоит в том, что его проведение не обусловлено фазовыми превращениями. Основными параметрами отжига первого рода являются температура нагрева и время выдержки при этой температуре. Скорости нагрева и охлаждения при этом имеют второстепенное значение. Отжиг первого рода устраняет отклонения от равновесного состояния, имеющиеся в стали после литья, обработки давлением, сварки. В зависимости от того, какие отклонения от равновесного состояния устраняются, различают **гомогенизационный, рекристаллизационный отжиг и отжиг для снятия внутренних напряжений**.

Гомогенизационный отжиг предназначен для устранения дендритной ликвации в литой стали. При этом сталь подвергается длительной выдержке (до 48 ч) при 1000 °С. При высокой температуре подвижность атомов в кристаллической решетке высокая, и с течением времени за счет процессов диффузии происходит постепенное выравнивание химического состава. Однако усреднение химического состава происходит в пределах одного зерна, т. е. устраняется в основном дендритная ликвация. После гомогенизации металл обладает повышенной пластичностью и легко поддается пластической деформации.

Рекристаллизационный отжиг. Холодная пластическая деформация вызывает изменение структуры металла и его свойств (увеличение плотности дефектов кристаллической решетки, таких как вакансии, дислокации). Все эти

процессы ведут к тому, что прочность металла постепенно увеличивается, а пластичность падает, т. е. возникает наклеп. Дальнейшая деформация такого металла невозможна, т. к. происходит его разрушение. Для снятия эффекта упрочнения применяют рекристаллизационный отжиг, т. е. нагрев металла до температур выше начала рекристаллизации и выдержку с последующим медленным охлаждением. Температура отжига на $100...200\text{ }^\circ\text{C}$ выше температуры рекристаллизации, определяемой из выражения $T_{рек} = 0,4 \cdot T_{пл}$.

Продолжительность такого отжига зависит от размеров детали и в среднем составляет от 0,5 до 2 ч. В процессе рекристаллизационного отжига происходит образование зародышей новых зерен и последующий рост этих зародышей. Постепенно старые деформированные зерна исчезают. Количество дефектов в кристаллической решетке уменьшается, наклеп устраняется, и металл возвращается в исходное состояние.

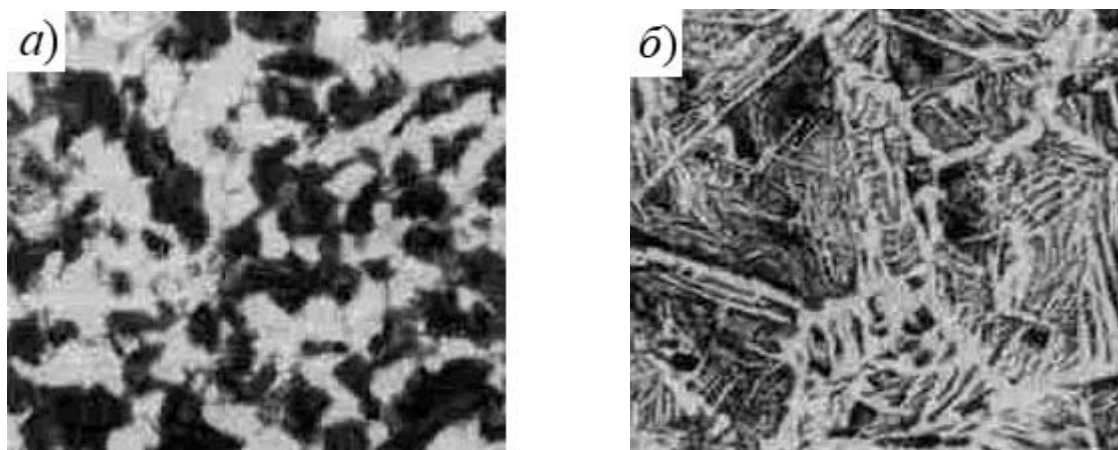
Рекристаллизационный отжиг может применяться как предварительная, промежуточная, так и как окончательная термообработка. Как предварительная термообработка, он применяется перед холодной деформацией, если исходное состояние металла неравновесное и имеет какую-то степень упрочнения. Как промежуточная операция, рекристаллизационный отжиг применяется между операциями холодной деформации, если суммарная степень деформации слишком велика и запасов пластичности металла не хватает. Как окончательный вид отжига, его применяют в том случае, если потребитель требует поставки полуфабрикатов в максимально пластичном состоянии.

Отжиг для снятия внутренних напряжений. Внутренние напряжения в металле могут возникать в результате различных видов обработки. Это могут быть термические напряжения, образовавшиеся в результате неравномерного нагрева, различной скорости охлаждения отдельных частей детали после горячей деформации, литья, сварки, шлифовки и резания. Могут быть структурными, т. е. появившимися в результате структурных превращений, происходящих внутри детали. Внутренние напряжения, складываясь с рабочими, могут превышать предел прочности и приводить к разрушению. Этот отжиг проводится несколько часов при температурах ниже температуры рекристаллизации: $t_{вн} = 0,2...0,3T_{пл}$. Повышенная температура облегчает скольжение дислокаций, и под действием внутренних напряжений происходит их перераспределение, т. е. из мест с повышенным уровнем внутренних напряжений дислокации перемещаются в области с пониженным уровнем. Происходит как бы разрядка внутренних напряжений.

Отжиг второго рода. При отжиге второго рода сталь нагревается на $30...50\text{ }^\circ\text{C}$ выше критических точек A_{c1} или A_{c3} с последующим медленным охлаждением, как правило, вместе с печью. В зависимости от температуры нагрева стали различают *полный* и *неполный* отжиг. При полном отжиге нагрев ведется на $30...50\text{ }^\circ$ выше точки A_{c3} , при неполном – в область межкритических температур ($A_{c1} < t_{нагрева} < A_{c3}$). Основными целями отжига являются перекристаллизация стали и устранение внутренних напряжений. Полный отжиг приводит к полной перекристаллизации (все составляющие исходной структуры при температуре нагрева переходят в аустенит). При неполном отжиге перекри-

сталлизацию испытывает только перлит; феррит (в доэвтектоидной стали) и цементит вторичный (в заэвтектоидной стали) перекристаллизуются частично. Отжиг приводит к снижению твердости, повышению пластичности и получению однородной мелкозернистой структуры. При медленном охлаждении стали, нагретой в аустенитную область, все фазовые превращения проходят в соответствии с диаграммой «железо–цементит». Для доэвтектоидных сталей, как правило, проводится *полный отжиг*, для заэвтектоидных – *неполный*.

На структуру стали оказывает влияние температура отжига. Отжиг при температурах, значительно превышающих A_{c3} , приводит к перегреву стали. У перегретой стали величина, форма и расположение зерен будут иными. Так, при нагреве стали 45 до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (нормальный отжиг проводится при $860\text{ }^{\circ}\text{C}$) зерна аустенита вырастают до значительных размеров. В результате этого при охлаждении образуются крупные зерна перлита, а феррит выделяется в виде крупных игл (пластин) внутри перлита по определенным кристаллографическим плоскостям (рисунок 5.2). Такая структура носит название *видманштетовой*. Сталь с видманштетовой структурой имеет низкую ударную вязкость. Видманштетова структура характерна для литой стали, для сварных швов, для кованой стали, есликовка закончилась при высокой температуре.



a – при $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ (правильный режим); *б* – при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (перегрев)

Рисунок 5. 2 – Микроструктура стали 45 после отжига

При неполном отжиге заэвтектоидных сталей нагрев проводится на $30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше A_{c1} . Так как в заэвтектоидных сталях количество цементита вторичного по сравнению с перлитом относительно невелико, при неполном отжиге они испытывают почти полную перекристаллизацию. Не растворившиеся при нагреве частицы цементита вторичного (присутствующие в структуре в небольшом количестве) являются центрами кристаллизации для цементита, образующегося при последующем охлаждении ниже точки A_{c1} в результате эвтектоидного распада аустенита. В этом случае цементит принимает зернистую форму. Такой отжиг часто называют *сфероидизирующим*.

В результате сфероидизирующего отжига образуется зернистый перлит (рисунок 5.3). Изменение формы включений цементита позволяет повышать

вязкость стали, облегчает процесс обработки резанием. Такая структура стали является идеальной перед закалкой.

Разновидностью отжига является **нормализация**. Особенностью нормализации является то, что охлаждение проводится на воздухе. После нормализации среднеуглеродистые стали имеют тот же фазовый состав, что и после отжига, однако дисперсность фаз в этом случае выше (рисунок 5.4), вместо перлита образуется структура, близкая к сорбиту. Это приводит к повышению твердости (25 HRC) и прочности материала. Нормализация является более дешевой термической обработкой, чем отжиг. Для низкоуглеродистых сталей ($C < 0,3 \%$) разница в структуре и свойствах материалов, подвергнутых отжигу и нормализации, невелика, поэтому эти стали рекомендуется подвергать не отжигу, а нормализации.

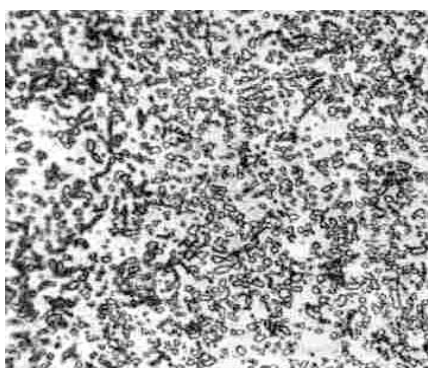


Рисунок 5.3 – Микроструктура зернистого перлита стали У10

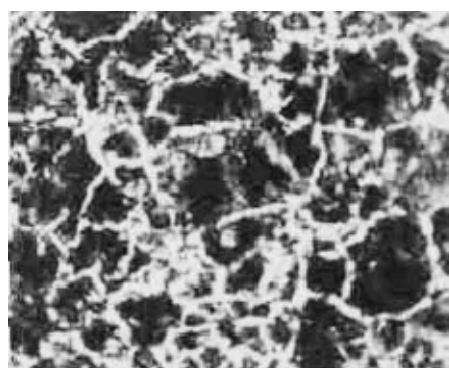


Рисунок 5.4 – Микроструктура стали 45 после нормализации

Для среднеуглеродистых сталей различие в свойствах нормализованной и отожженной сталей более значительно. Для этих сталей нормализацией часто заменяют более дорогую операцию – улучшение, состоящую в двойной обработке, включающей закалку и высокий отпуск.

Закалка. *Закалкой называется такой вид термической обработки, который заключается в нагреве на $30...50 \text{ }^\circ\text{C}$ выше точки A_{c3} или A_{c1} , выдержке для завершения фазовых превращений и последующем охлаждении со скоростью, как правило, выше критической V_k .*

При охлаждении со скоростью выше критической аустенит переохлаждается ниже температуры точки M_n , при которой атомы железа и углерода почти теряют диффузионную подвижность и происходит бездиффузионная перестройка гранцентрированной решетки аустенита в тетрагональную объемноцентрированную решетку мартенсита. При этом весь углерод остается в твердом растворе $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{C})$. Таким образом, **мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в α -железе**. Мартенсит имеет игольчатое строение. Размер игл мартенсита определяется величиной исходного зерна аустенита. Чем больше зерно аустенита, тем крупнее размер игл образовавшегося мартенсита. При нормальной закалке образуется мелкоигльчатый мартенсит. Высокая твердость и прочность мартенсита объясняется искажением решетки вследствие образования пересыщенного твердого раствора.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. В случае нагрева под неполную закалку (выше A_{c1} , но ниже A_{c3}) доэвтектоидная сталь имеет структуру аустенита и феррита, а заэвтектоидная – аустенита и цементита вторичного. **Количество избыточных фаз (феррита или цементита) зависит от температуры закалки.** Чем ближе температура нагрева к точке A_{c3} , тем меньше в структуре закаленной стали избыточных фаз.

Отпуск. После закалки сталь подвергают отпуску. **Под отпуском понимается совокупность операций, заключающихся в нагреве закаленной стали до температуры ниже критической точки A_{c1} , выдержке и охлаждении до комнатной температуры.** Практическими целями отпуска являются уменьшение закалочных напряжений, получение нужного комплекса механических свойств (прочности, пластичности и вязкости).

Отпуск приводит к снижению твердости, прочности и повышению пластичности. Причем влияние на указанные свойства тем больше, чем выше температура отпуска.

В зависимости от температуры нагрева различают три разновидности отпуска: *низкий, средний и высокий.*

Низкий отпуск проводят путем нагрева закаленной стали до 200 °С. При этом образуется структура мартенсита отпущенного. Низкий отпуск частично снимает внутренние напряжения и несколько повышает вязкость. Твердость при низком отпуске почти не снижается. Такой отпуск наиболее часто применяется при термической обработке инструментальных сталей и изделий после цементации.

При **среднем отпуске** нагрев закаленной стали производится до температур 350...450 °С, при этом образуется структура троостита отпуска. Троостит отпуска состоит из дисперсных частиц феррита и цементита. Сталь со структурой троостита отпуска имеет высокий предел упругости. Поэтому средний отпуск обычно применяют при термической обработке рессор и пружин.

При **высоком отпуске** нагрев закаленной стали производится до температур 500...650 °С; образуется структура – сорбит отпуска, представляющий собой смесь укрупненных частиц феррита и цементита округлой формы. Сорбит отпуска имеет хорошее сочетание свойств: прочность, пластичность и вязкость. Твердость сорбита составляет 25 HRC. Закалка стали с последующим высоким отпуском на сорбит носит название термического улучшения. Эта обработка рекомендуется для среднеуглеродистых конструкционных сталей.

Контрольные вопросы

1 Дать определения термической обработке, отжигу 1-го рода, отжигу 2-го рода закалке, отпуску.

2 Описать разновидности отжига 1-го и 2-го рода, указать их режимы и назначение.

Задание к работе

- 1 Дать определение основным видам термической обработки, указать их цель.
- 2 Описать разновидности отжига 1-го и 2-го рода, указать их режимы и назначение. Изучить влияние отпуска на фазовые превращения и характер образующихся микроструктур.

6 Практическая работа № 6. Изучение зависимости между структурой и свойствами легированных сталей

Цель работы: изучение влияния легирующих элементов на фазовый состав, структуру и свойства сталей, а также классификации, маркировки и термической обработки легированных сталей.

Оборудование и инструмент: микроскоп металлографический ЛабоМет-1, видеокамера TOUPCAM™, ПЭВМ ITEX™ MAXIMA.

Элементы, специально вводимые в сталь с целью изменения ее строения и свойств, называются легирующими. Стали, в которые для получения требуемых свойств вводят легирующие элементы, называют *легированными сталями*. Большинство легирующих элементов растворяются в основных фазах – феррите, аустените, цементите или образуют специальные карбиды.

Элементы, растворимые в железе, сдвигают критические точки A_3 и A_4 по температурной шкале. *Марганец* и *никель* повышают точку A_4 и снижают A_3 , расширяя аустенитную область. *Хром, молибден, вольфрам, ванадий, кремний, алюминий* и др. повышают точку A_3 и снижают A_4 , сужая аустенитную область и расширяя ферритную область. При определенной концентрации элементов первой группы температура начала мартенситного превращения снижается до зоны отрицательных температур, и после закалки аустенитное состояние существует устойчиво при комнатной температуре. Такие сплавы называются ***аустенитными***. При высоком содержании элементов второй группы образуются ***ферритные*** сплавы.

По отношению к углероду легирующие элементы делятся на две группы – ***карбидообразующие*** и ***некарбидообразующие***. *Никель, кобальт, медь, кремний* относятся к ***некарбидообразующим*** элементам. *Марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан, цирконий* – ***карбидообразующие*** элементы. Карбиды в сталях делятся на две группы. К ***первой группе*** относятся карбиды со сложной кристаллической решеткой – Me_3C , $Me_{26}C_6$, Me_6C (например, цементит), при нагреве они легко растворяются в аустените. Ко ***второй группе*** относятся карбиды типа MeC и Me_2C с простой кристаллической решеткой, они трудно растворяются в аустените, поэтому при нагреве под закалку они задерживают диффузионные процессы и тормозят рост зерна аустенита (измельчают зерно).

Легирующие элементы, искажая решетку, замедляют диффузионные процессы и снижают скорость распада аустенита, что способствует переохлажде-

нию аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении (*возможна закалка в масле или на воздухе*). При этом снижается критическая скорость закалки и увеличивается прокаливаемость легированных сталей. Наиболее сильно увеличивают прокаливаемость стали *марганец, хром, никель, молибден*.

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита при отпуске, поэтому легированную сталь нужно нагревать при отпуске до более высокой температуры или увеличивать продолжительность отпуска по сравнению с углеродистой.

Легированные стали классифицируют по четырем признакам: *по равновесной структуре, получаемой после отжига; по структуре после охлаждения на воздухе; по составу; по назначению*.

По *равновесной структуре* стали делятся на *доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные, ледебуритные, ферритные и аустенитные*. Большинство легирующих элементов сдвигают точки *S* и *E* на диаграмме состояния «железо–цементит» влево (в сторону меньшего содержания углерода), поэтому границы между вышеуказанными сталями находятся при меньшем содержании углерода по сравнению с углеродистыми сталями. При большом их содержании, например, в быстрорежущих сталях, точка *E* находится при 0,60 % углерода, что приводит к появлению в структуре стали ледебурита.

По структуре после охлаждения на воздухе различают три основных класса сталей: *перлитный, мартенситный, аустенитный*. Стали *перлитного* класса характеризуются относительно малым содержанием легирующих элементов, *мартенситного* – более значительным, *аустенитного* – высоким содержанием марганца или никеля. Получение указанных классов стали обусловлено тем, что по мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита возрастает, а температурная область мартенситного превращения снижается.

По назначению легированные стали делятся на *конструкционные, инструментальные, стали с особыми свойствами*. *Конструкционные* стали применяются для изготовления деталей машин и механизмов, *инструментальные* – для различного инструмента (режущего, штампового, измерительного). К *сталям с особыми свойствами* относятся стали, обладающие каким-либо резко выраженным свойством: *нержавеющие, жаропрочные, износоустойчивые и т. д.*

Маркировка сталей буквенно-цифровая. Все легирующие элементы имеют буквенное обозначение: например, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий. *Цифры в начале марки* – среднее содержание углерода (для конструкционных сталей – в сотых долях процента, а для инструментальных – в десятых долях процента). *Цифры после букв* показывают примерное содержание легирующих элементов в целых процентах, отсутствие цифр указывает, что содержание 1,0...1,5 %. Буква А в конце марки показывает, что стали *высококачественные* (< 0,025 % фосфора и < 0,025 % серы).

Например: сталь 12Х2Н4А – конструкционная высококачественная сталь, содержащая С – 0,12 %, Cr – 2 %, Ni – 4 %; сталь 3Х2В8 – инструментальная, содержащая С – 0,3 %, Cr – 2 %, W – 8 %.

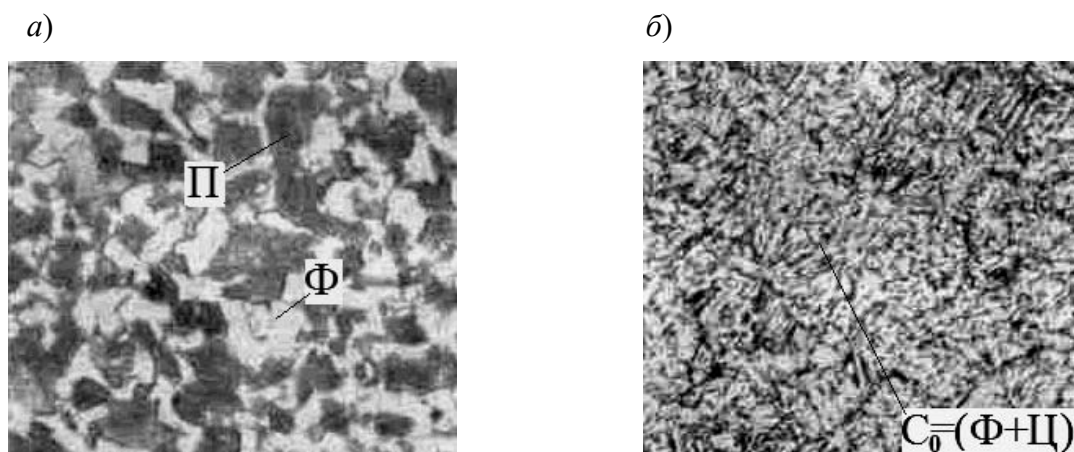
Конструкционные стали. Конструкционные стали делятся на различные группы, которые отличаются друг от друга разным содержанием углерода и режимами термической обработки.

Цементируемые стали имеют низкое содержание углерода (не более 0,25 %) и подвергаются цементации – поверхностному насыщению углеродом с последующей закалкой и низким отпуском. Твердость поверхностного слоя после этого достигает HRC 60, а сердцевины – HRC 15...30. К цементируемым сталям относятся 15X, 20X, 15XP, 20XГР, 18ХГТ.

Рассмотрим термическую обработку низколегированной цементируемой стали 20X. Сталь применяется для изготовления конструктивных деталей повышенной прочности – шестерней, втулок, осей, поршневых колец. Термическая обработка деталей из этой стали заключается в цементации, неполной закалке и низком отпуске. После цементации изделия имеют высокоуглеродистую поверхностную зону, содержание углерода в которой достигает 1,1 %, и низкоуглеродистую сердцевину с содержанием углерода 0,2 %. После термической обработки поверхностный слой имеет структуру мартенсита отпуска с включениями цементита, а сердцевина – структуру бейнита с включениями феррита.

Улучшаемые стали содержат 0,3...0,5 % углерода. Суммарное количество легирующих элементов может достигать 5 %. Наиболее распространенными являются стали 40X, 40XP, 30XM, 40XГ, 40XHM, 40XH. Термическая обработка этих сталей заключается в закалке и высоком отпуске (улучшении). Рассмотрим термическую обработку улучшаемых сталей на примере стали 40XHM. Комплексное легирование приводит к увеличению прокаливаемости (критический диаметр равен 70 мм). Наличие никеля вызывает снижение порога хладноломкости до минус 80 °С.

После полной закалки сталь имеет структуру мартенсита. Последующий высокий отпуск обеспечивает получение структуры сорбита (рисунок 6.1).

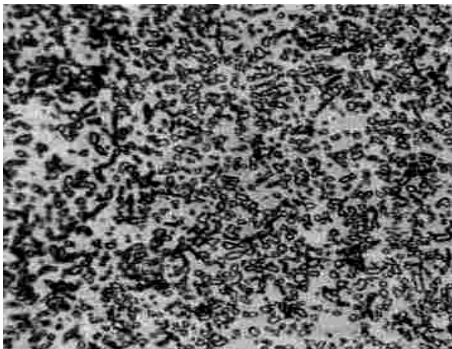


а – отожженное состояние; б – улучшенное

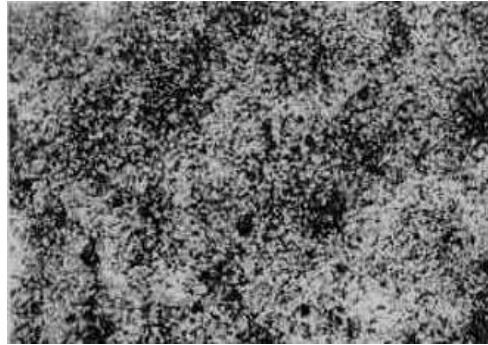
Рисунок 6.1 – Микроструктура стали 40XHM

Инструментальные стали. По структуре после отжига они, как правило, относятся к перлитному или ледебуритному классу. Применяются для изготовления режущего, штампового и измерительного инструмента. Типичной инструментальной сталью перлитного класса является сталь X, содержащая 1,1 % углерода, 1,3 % хрома. Применяется для изготовления режущего инструмента в легких условиях резания, штампов холодной штамповки и др. С целью улучшения обработки резанием заготовки из стали X подвергаются неполному отжигу (800 °С) на зернистый перлит (рисунок 6.2, а), а затем неполной закалке в масле (850 °С) с последующим низким отпуском. После термообработки изделия имеют структуру мартенсита отпуска (рисунок 6.2, б) с включениями цементита. Твердость составляет HRC 62. Типовая термообработка сталей приведена в таблице 6.1. Для изготовления режущего инструмента широко применяются **быстрорежущие стали** P18, P9, P6M5, P6M3. Быстрорежущие стали имеют высокую теплостойкость (сохраняют высокую твердость при нагреве до 620 °С).

а)



б)



а – отжиг на зернистый перлит; б – неполная закалка и низкий отпуск

Рисунок 6.2 – Микроструктура стали X

Контрольные вопросы

- 1 Как отличаются по содержанию углерода группы сталей различного назначения?
- 2 Изучить маркировку сталей и указать их типовую термическую обработку, образуемые структуры и свойства.

Задание к работе

- 1 Изучить влияние легирующих элементов на полиморфизм стали, стойкость переохлажденного аустенита, мартенситное превращение, превращения при отпуске, классификацию и маркировку сталей.
- 2 Изучить назначение основных марок сталей, характерные свойства изделий из них, назначаемую термическую обработку, получаемые структуры.
- 3 Изучить структуры предложенных шлифов, зарисовать и указать структурные составляющие, фазы, прогнозировать свойства.

Таблица 6.1 – Типовая термообработка сталей

Содержание углерода, %	Марка стали	Назначение изделий	Характерное свойство изделия	Вид закалки	Структура после закалки	Вид отпуска	Структура после отпуска	
Конструкционные								
До 0,3 % низкоуглеродистые	08кп	Для холодной штамповки	Высокая пластичность					
	ВСт.3, 09Г2, 17ГС, 10ХСНД	Для сварных конструкций	Хорошая свариваемость					
	18ХГТ, 20Х, 20ХГР	Цементируемые изделия (пальцы, шестерни, оси)	Износостойкая поверхность, вязкая сердцевина	Неполная	$M + \zeta_{II} + A_{ост}$	Низкий	$M_0 + \zeta_{II}$	
(0,3...0,5) % среднеуглеродистые	30Х, 35ХМ, 40Х, 40ХН, 40ХФА, 50Х, 50ХН,	Ответственные детали при высоких нагрузках (шатуны, коленвалы, цапфы)	Надежность от хрупкого разрушения	Полная	M	Высокий	S_0	
(0,5...0,8) % высокоуглеродистые	50С2, 50ХГФА, 60СГА, 65Г, 70С3А	Пружины, рессоры	Высокая упругость	Полная	$M + A_{ост}$	Средний	T_0	
Инструментальные								
Доэвтектоидные	Для горячей штамповки	3Х2В8Ф, 5ХНМ, 5ХГР, 4Х5В2ФС	Техоснастка для горячей штамповки (работающая при температурах 400 °С и более)	Высокие механические свойства при рабочей температуре	Полная	M	Средний ($T_{раб} = T_{отп}$)	T_0 или (тростосорбит)
	Для холодной штамповки	6ХС, У7, 6ХВ2С, 7ХГ2ВМ	Техоснастка для холодной штамповки при значительных ударных нагрузках	Высокая твердость и прочность при повышенной вязкости инструментов	Полная	$M + A_{ост}$	Низкий	M_0
Заэвтектоидные	9ХС, Х, ХГ, ХГР, У12, В1	Режущий, мерительный, штамповый инструмент для холодной штамповки	Высокая твердость	Неполная	$M + \zeta_{II} + A_{ост}$	Низкий	$M_0 + \zeta_{II}$	

7 Практическая работа № 7. Цветные металлы и сплавы

Цель работы: изучение микроструктуры и свойств цветных металлов и сплавов и установление связи между структурой сплава и соответствующей диаграммой состояния.

Алюминий и его сплавы. Алюминий имеет ГЦК-решетку. Наиболее характерные свойства его – малый удельный вес ($\gamma = 2,7$), низкая температура плавления (657°C), высокие тепло- и электропроводность, пластичность, отражательная способность.

Алюминий – один из важнейших промышленных металлов, находящихся широкое применение в электротехнике, в химическом аппаратостроении, в быту и других областях. Применение его как конструкционного материала ограничено низкой прочностью ($\sigma_B = 8 \text{ кг/мм}^2$). Алюминий упрочняется путем введения различных легирующих элементов, что позволяет получить сплавы с высокими прочностными свойствами. Применяющиеся в технике алюминиевые сплавы делятся на *деформируемые*, представляющие собой твердые растворы и *литейные*, содержащие в своей структуре эвтектику (рисунок 7.1).

Деформируемые сплавы. Сплавы этого класса подразделяются на упрочняемые термической обработкой (II группа) и неупрочняемые (I группа). К первой группе относятся сплавы типа АМг1,5..., АМц2. В связи с низким содержанием легирующих элементов (магния или марганца) они представляют собой однофазные α -твердые растворы (см. рисунок 7.1, а), обладающие высокой пластичностью, свариваемостью, но низкими прочностью и твердостью.

Повысить их прочность можно за счет наклепа, возникающего при холодной пластической деформации. Для них характерна широкая область применения: трубные конструкции, лифты, корпуса судов, автомобилей, различные емкости для жидкостей (фляги, баки, цистерны и пр.), радиаторы охлаждения, элементы строительных конструкций (окна, двери), посуда и т. д.

К сплавам второй группы относятся Д1, Д18..., АК6, АК8..., В93, В95.

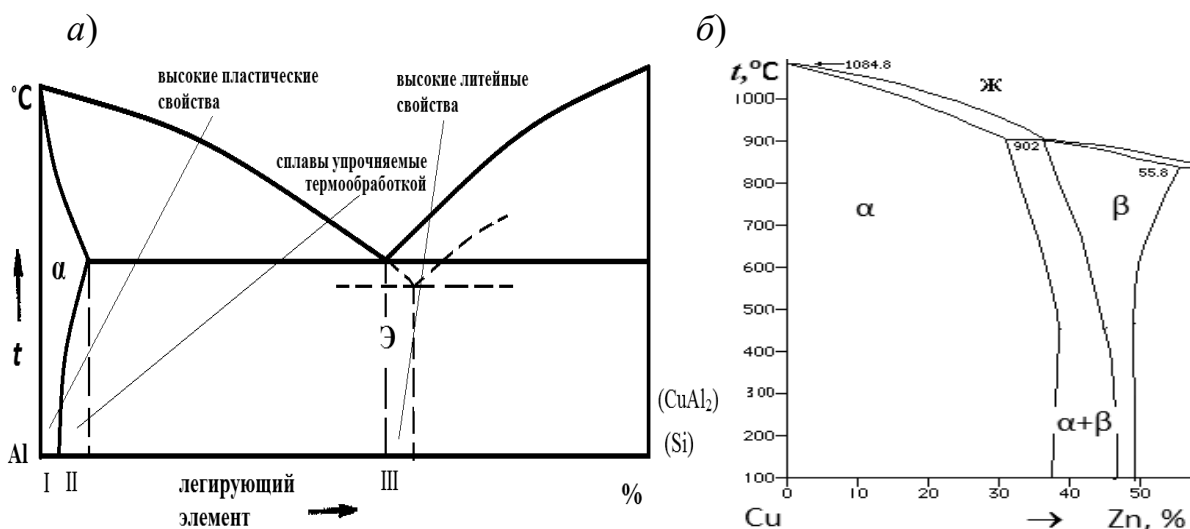


Рисунок 7.1 – Диаграммы состояния алюминиевых сплавов а) и латуней б)

Наиболее распространенными представителями этой группы являются дуралюмины (Д1, Д16). Основными легирующими элементами являются медь и магний, поэтому этот материал может быть причислен к сплавам системы Al–Cu–Mg. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений (CuAl_2 , CuMgAl_2 , Mg_2Si), вызывающих упрочнение сплава в процессе термической обработки, заключающихся в закалке от 500°C в воде с последующим естественным старением в течение 5...7 суток.

Самым простым сплавом II группы является сплав Д1, включающий 4,5 % меди и около 0,5 % магния и марганца. Магний и марганец переходят в твердые растворы, а медь образует вторичные включения CuAl_2 . При нагреве под закалку (510°C) CuAl_2 полностью растворяется в α -твердом растворе, и при последующем быстром охлаждении фиксируется пересыщенный α -твердый раствор. После закалки сплав подвергают естественному или искусственному (при 150°C) старению, приводящему к распаду пересыщенного твердого раствора и выделению высокодисперсной вторичной фазы $\text{CuAl}_{2\text{II}}$, которая является препятствием для движения дислокаций и приводит к упрочнению сплава в 3–4 раза. По этой причине все сплавы II группы являются дисперсионно-твердеющими.

Дуралюмины хорошо свариваются точечной сваркой и не свариваются сваркой плавлением вследствие склонности к образованию трещин. Из них изготовляют обшивки, шпангоуты, стрингера и лонжероны самолетов, кузова грузовых автомобилей и т. д. Ковочные сплавы (АК6) используют для тяжело нагруженных деталей сложной формы, изготовление которых требует высокой пластичности в процессе штамповки (лопасти винтов вертолета и пр.).

Литейные сплавы. В качестве литейных сплавов на основе алюминия широкое распространение имеют сплавы III группы, системы Al–Si – *силумины* (алюминиевокремнистые сплавы, содержащие 5...14 % Si).

Силумины обладают высокой жидкотекучестью, малой усадкой, удовлетворительной коррозионной стойкостью и применяются для получения отливок сложной формы. Типичным силумином является эвтектический (или заэвтектический) сплав АЛ2 (12 % Si), структура которого имеет игольчатую эвтектику (основа сплава), состоящую из твердого раствора кремния в алюминии α и небольшого количества грубых игольчатых включений Si. Маркировка сплавов АЛ: буквы указывают, что это алюминиевый (А), литейный (Л) сплав; цифры – порядковый номер в ГОСТе.

Медь и ее сплавы. Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку. Удельный вес меди – $8,9\text{ г/см}^3$, температура плавления – 1083°C . Она обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью, пластичностью в горячем и холодном состояниях и широко применяется в различных областях техники. Кроме того, медь является основой важнейших сплавов – *латуней* и *бронз*.

Сплавы меди с цинком (латуни). Практическое применение имеют сплавы с содержанием цинка до 45 %, которые называются латунями. Равновесная диаграмма состояния для этой системы приведена на рисунке 7.1, б). По структуре латуни делятся на две группы:

- 1) сплавы с содержанием цинка до 39 % (Л96...Л75), являющиеся однофазными со структурой твердого раствора цинка в меди (α);
- 2) сплавы с содержанием цинка более 39 % (Л60, Л55), имеющие двухфазную структуру ($\alpha+\beta$); β -твердый раствор на базе соединения CuZn.

Максимальной пластичностью обладают материалы со структурой однофазного твердого раствора. Переход через границу однофазной области (39 % Zn) приводит к резкому снижению пластичности, повышению прочностных и литейных свойств. Поэтому для литья применяют двухфазные латуни.

Однофазные латуни легко поддаются пластической деформации, поэтому их используют для производства листов, лент, профилей. Причем для прокатки в холодном состоянии применяют латуни с содержанием цинка до 30 % (α -латуни), а для прокатки в горячем состоянии наиболее пригодны латуни со структурой $\alpha + \beta$ (при нагреве α -фаза растворяется, и во время горячей обработки давлением их структура состоит из одной β -фазы).

Бронзы. Бронзами называются сплавы меди с другими элементами (за исключением цинка). В зависимости от основного легирующего элемента бронзы разделяются на *оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, марганцовистые* и т. д. Марки бронз начинаются с букв Бр. И далее следуют буквы, показывающие наличие определенных легирующих элементов, и цифры, указывающие их содержание. Бронзы применяют для получения отливок и поковок. Дорогостоящие и дефицитные оловянистые бронзы в настоящее время заменяются алюминиевыми.

Алюминиевая бронза. Наиболее распространены алюминиевые бронзы, содержащие до 11 % Al. Диаграмма состояния этих сплавов аналогична диаграмме латуней. Сплавы с содержанием алюминия до 9,8 % (БрА5, БрА7, БрА9) имеют однофазную структуру твердого раствора алюминия в меди α , при больших концентрациях алюминия сплавы имеют двухфазную структуру, состоящую из твердого раствора α и эвтектоида $\alpha + \gamma'$. Однофазные бронзы используют при обработке давлением, а двухфазные – для литых изделий.

Алюминиевые бронзы среди медных сплавов выделяются высокими механическими, коррозионными и антифрикционными свойствами, в связи с чем их широко используют в машиностроении для деталей конструкционного назначения.

Бериллиевая бронза обладает исключительно ценными качествами, в диаграмме состояния этой системы имеется линия понижения растворимости, как и в диаграмме алюминиевых сплавов, что позволяет проводить упрочнение сплава с помощью аналогичной термической обработки. После закалки и старения она имеет высокую прочность и твердость, повышенный предел упругости и усталости. Бериллиевая бронза является наилучшим пружинным материалом, она с успехом применяется для изготовления деталей, работающих на износ. Этот материал не дает искр при ударе, что позволяет изготавливать из нее ударники отбойных молотков во взрывоопасных производствах. Наиболее высокие механические свойства имеют сплавы с 2,0...2,5 % бериллия, они являются дисперсионно-твердеющими. Растворимость бериллия в меди при комнатной температуре не превышает 0,2 %. Закалка с 800 °С фиксирует пересыщенный рас-

твор бериллия в меди. Последующее искусственное старение при 350 °С приводит к резкому повышению твердости и прочности, которое связано с выделением из твердого раствора γ -фазы (CuBe_{II}) в форме дисперсных включений.

Широкому распространению бериллиевой бронзы препятствует ее высокая стоимость и дефицитность.

Контрольные вопросы

1 Как меняются механические и технологические свойства алюминиевых и медных сплавов при увеличении количества легирующих элементов?

2 Дать объяснение повышения прочностных свойств дисперсионно-твердеющих сплавов на основе алюминия и меди.

Задание к работе

1 Зарисовать диаграммы состояния для предложенных систем.

2 Используя диаграммы состояния, описать процессы, протекающие при охлаждении изучаемых сплавов.

3 Изучить и зарисовать микроструктуры предложенных сплавов.

8 Практическая работа № 8. Пластические массы

Цель работы: ознакомление с принципами классификации пластических масс по характеру связующего вещества и по назначению.

Оборудование и инструмент: стенды с образцами изделий из пластмасс.

Замена металлических изделий на пластмассовые весьма эффективна: ***вес конструкции, трудоемкость изготовления, себестоимость продукции снижаются до 5 раз*** [1–3].

Полимерные органические соединения являются основой пластических масс. Полимерами называют вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев – мономеров одинаковой структуры. Макромолекулы могут быть построены из одинаковых по химическому строению мономеров или разнородных звеньев, в первом случае соединения называются ***гомополимерами***, во втором – ***сополимерами***.

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Термопластичные полимеры при нагревании переходят из твердого агрегатного состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Это свойство термопластичные полимеры сохраняют при многократных нагревах. Термореактивные пластмассы при нагреве первоначально размягчаются, а затем переходят в неплавкое, нерастворимое, твердое состояние.

8.1 Термопластичные полимеры

К термопластичным полимерам относятся полиолефины, полиамиды, поливинилхлорид, фторопласты, полиуретаны.

Термопласты имеют невысокую температуру перехода в вязкотекучее состояние, хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и пресованием. Применяются термопласты в качестве изоляторов, химически стойких конструкционных материалов, прозрачных оптических стекол, пленок, волокон, а также в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев и др.

Полиэтилен представляет собой продукт полимеризации этилена (C_2H_4). Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком. Полиэтилен легко перерабатывается различными методами, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до минус 70°C). Полиэтилен склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы. Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несилевых деталей, пленок, изоляции проводов и кабелей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии.

Полипропилен – производная этилена, жесткий нетоксичный материал с более высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом более теплостоек, сохраняет форму до 150°C , однако морозостойкость ниже, до минус 15°C .

Применяется для изготовления труб, деталей автомобилей, мотоциклов, холодильников, корпусов насосов, емкостей, пленок, посуды для горячих пищевых продуктов (стаканы, тарелки, вилки, ложки, маркируется «PP»).

Поливинилхлорид (ПВХ) – аморфный полимер белого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, химической стойкостью, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуется, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от минус 10 до плюс 70°C). При нагревании разлагается с образованием ядовитых веществ и при пожаре представляет значительную опасность. Из винипласта изготавливают различные изделия – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов, облицовочную плитку, трубы, обложки тетрадей и др.

Политетрафторэтилен – $[\text{CF}_2\text{-CF}_2]_n$ (фторопласт-4) является фторопродуктом этилена. В вязкотекучее состояние переходит при температуре 423°C , прессование изделий производят при температуре 380°C , т. к. при более высоких температурах выделяется токсичный фтор. Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислите-

лей, растворителей. Фторопласт-4 имеет *очень низкий коэффициент трения* ($f = 0,04$), сохраняет упругие свойства до 269 °С.

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, работающих в агрессивных средах, антифрикционных покрытий на металлических изделиях, высокочастотной аппаратуры, кабелей, конденсаторов, тонких изоляционных пленок толщиной до 0,005 мм.

Полистирол – твердый, жесткий, прозрачный полимер (пропускает 90 % света), обладает хорошими диэлектрическими свойствами, обладает высокой химической стойкостью, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплостойкость (до 80 °С) и ударную вязкость. Поэтому используется только для изготовления посуды для холодных пищевых продуктов (маркируется PS). Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения (корпуса телевизоров, радиоприемников, телефонных аппаратов, магнитофонов), для получения электроизоляционных пленок для радиодеталей, нитей, а также упаковочной пленки. Из него изготавливают предметы домашнего обихода, детские игрушки, школьно-канцелярские принадлежности (авторучки и пр.), тару для упаковки, трубы, внутреннюю отделку холодильников (морозостойчивость до минус 70 °С), облицовочные материалы для внутренней отделки помещений, салонов автомобилей и т. д.

Полистирол, полученный эмульсионным методом, используется для производства пенопластов, применяемых в качестве термоизоляционного материала в строительстве, при изготовлении холодильников, а также для упаковки. Для повышения ударной вязкости производят сополимеризацию стирола с каучуками и получают ударопрочные АБС-пластики (акрилонитрил бутадиен стирол), применяемые в качестве бамперов и приборных панелей автомобилей, корпусных деталей телевизоров, ноутбуков, стрелкового оружия и пр.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный полимер (пропускает 92 % света), стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и маслостоек, морозостоек (до минус 60 °С), растворяется в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре +105...+150 °С пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

Полиамиды (капрон, нейлон и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью. Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно до 30 % или графит до 10 %. Применяются для изготовления канатов, зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий на металлах.

Полиуретаны – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до минус 70 °С), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Применяются для из-

готовления труб, шлангов, уплотнителей, обувных подошв, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

Полиэтилентерефталат (маркируется «РЕТ»); аббревиатура ЛАВСАН – лаборатория высокомолекулярных соединений академии наук) – полиэфир, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур – от минус 70 до плюс 255 °С, в 10 раз прочнее полиэтилена, хорошо сваривается и склеивается. После быстрого охлаждения приобретает аморфную структуру и становится стеклообразным. Лавсан применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, а также в качестве корда в ременных передачах, в покрышках, различных транспортерных лентах, основы магнитофонных лент, в качестве материала бутылок для газированных напитков.

Поликарбонат – полиэфир угольной кислоты, после быстрого охлаждения приобретает аморфную структуру и становится стеклообразным. Обладает высокими прочностью, ударной вязкостью, гибкостью, химически стоек. Из него изготавливают небьющуюся посуду, защитные маски, а также шестерни, подшипники и другие детали.

8.2 Терморезистивные полимеры

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Фенолоформальдегидные смолы обладают высокими атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой).

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, 5...15 % от массы смолы). Длительность отверждения – 24 ч. Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины. Отверждение проводят при температуре 100...180 °С в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и термостойкость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам.

8.3 Композиционные материалы

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей, или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве матрицы могут применяться материалы на *полимерной, металлической и керамической* основе. В зависимости от вида

и структуры наполнителя композиты делятся на *дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные*.

8.3.1 Пластмассы с порошковыми наполнителями. В качестве дисперсных наполнителей применяются органические порошки – древесная мука, порошкообразная целлюлоза, а также минеральные – молотый кварц, тальк, графит. Свойства порошковых пластмасс характеризуются изотропностью, невысокими прочностью и ударной вязкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами. На основе формальдегидных смол с органическими наполнителями изготавливают несилловые конструкционные и электроизоляционные детали: рукоятки, детали и корпуса приборов. В случае применения в качестве связующего – кремнийорганических полимеров и наполнителей – кварцевого порошка или асбеста теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, станочных приспособлений, литейных моделей и пр.

8.3.2 Пластмассы с волокнистыми наполнителями.

Волокниты – пластмассы на основе волокон, пропитанных фенолоформальдегидной смолой. В качестве волокнистых наполнителей используются хлопковые очесы (волокниты), кордовые нити (кордоволокниты), асбестовое волокно (асбоволокниты), стекловолокно (стекловолокниты).

Применяются они для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Карбоволокниты (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической стойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения. В качестве связующих используют термореактивные полимеры.

Углепластики обладают хорошими механическими свойствами, химической стойкостью. Применяются углепластики для изготовления конструктивных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря.

8.3.3 Слоистые пластмассы. Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу и т. д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств. В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоткани и пр.

Гетинакс – пластик на основе фенольных смол и различных сортов бумаги. Рабочая температура – до 140 °С. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс применяется для внутренней облицовки салонов самолетов, лифтов, железнодорожных вагонов и т. д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей.

Текстолит – слоистый пластик на основе термореактивных смол и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные и электротехнические. Конструкционный текстолит используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах не выше 90 °С, в прокатных станах, турбинах, насосах и др.

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих. На кремнийорганических смолах имеют более высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью. Эпоксидные смолы обеспечивают стеклотекстолитам наиболее высокие механические свойства и позволяют изготавливать из них крупногабаритные детали.

Стеклопластики являются конструкционными материалами для силовых изделий деталей летательных аппаратов, кузовов и кабин автомобилей, автоцистерн, корпусов лодок, вагонов, судов, контейнеров, корпусов машин, кожухов, защитных ограждений. По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2–3 раза превосходят их.

8.4 Композиционные материалы с газообразными наполнителями

Газонаполненные материалы представляют собой структуру, состоящую из твердой и газообразной фаз. Такая структура обеспечивает чрезвычайно низкий вес и высокие теплозвукоизоляционные характеристики. Их подразделяют на две группы: **пенопласты** и **поропласты**. Пенопласты имеют ячеистую структуру, поры которой изолированы друг от друга полимерной прослойкой. Поропласты имеют открыто пористую систему и сообщаются с окружающей средой.

Пенопласты используют для тепло- и звукоизоляции кабин, теплоизоляции рефрижераторов, труб, приборов, для повышения плавучести, удельной прочности, жесткости и вибростойкости элементов конструкций, а также как упаковочный материал. Поропласты применяют для изготовления амортизаторов, мягких сидений, губок, фильтров, в качестве вибродемпфирующих и звукоизоляционных прокладок в глушителях, в касках и шлемах и т. д.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение полимеров, их классификацию по отношению к нагреву.
- 2 Описать разновидности термопластов, реактопластов, композиционных материалов, указать их состав, свойства и назначение.
- 3 Перечислить пластмассы с высокими оптическими свойствами, сравнить их характеристики.

Задание к работе

- 1 Привести классификацию пластических масс по характеру связующего вещества, по назначению.
- 2 Найти отличительные признаки различных видов пластмасс по внешнему виду, характерным механическим свойствам.

Правила техники безопасности при проведении практических работ

1 К работе с учебным оборудованием допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при проведении лабораторной работы. Разрешается выполнять только ту работу, которая соответствует учебному плану.

2 Практические работы должны проводиться в соответствии с методическими рекомендациями и правилами технической эксплуатации соответствующего учебного оборудования.

3 Запрещается выполнять работы на оборудовании и установках с неисправностями, которые могут привести к пожарам или поражению электрическим током. Запрещается самостоятельно устранять неисправности оборудования.

4 В лаборатории необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка.

5 **Перед началом работы** необходимо провести внешний осмотр оборудования, используемого в практической работе. Убедиться в наличии заземления, огнетушителя, отсутствии оголенной электропроводки.

6 Проверить наличие необходимых для выполнения работы образцов и расходных материалов. Обеспечить свободный доступ к используемому оборудованию.

7 **При выполнении практической работы** запрещается включать оборудование и приборы без разрешения преподавателя, вращать без необходимости настроечные винты и рукоятки, перемещать приборы во время работы.

8 Во избежание удара электротоком необходимо отключать печное оборудование перед загрузкой и выгрузкой образцов.

9 Для загрузки и выгрузки образцов из печного пространства использовать специальные перчатки и клещи. Не допускать контакта раскаленной заготовки с телом, одеждой, мебелью и полом.

10 **По окончании работы** необходимо отключить от электросети оборудование и приборы. Убрать рабочее место.

11 В случае неполадок оборудования и приборов сообщить об этом преподавателю.

Список литературы

1 Материаловедение: учебное пособие / И. М. Жарский [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 557 с.

2 **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 6-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2011. – 528 с.

3 **Сироткин, О. С.** Основы современного материаловедения: учебник / О. С. Сироткин. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.