МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ПЕРМСКОГО КРАЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ПЕРМСКИЙ ТЕХНИКУМ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ им. Б.Г. ИЗГАГИНА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по проведению практических работ

по учебной дисциплине
ОП.05 Основы материаловедения

Профессия 15.01.29 Контролер качества в машиностроении

Пермь, 2024

Методические указания по выполнению практических работ для студентов, обучающихся по профессии 15.01.29 Контроль качества в машиностроении по учебной дисциплине ОП 05. Основы материаловедения.

Организация-разработчик: государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Пермский техникум промышленных и информационных технологий им. Б.Г. Изагина»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	**4**
Практическая работа №1. Ознакомление с методикой измерения твердости по Роквеллу и Бринелю	**6**
Практическая работа №2. Изучение строения структурных составляющих диаграммы железо - углерод	**12**
Практическая работа №3. По стандартам и справочникам описать марки чугунов, их химический состав, свойства и применение. Изучение микроструктуры чугунов.	**20**
Практическая работа №4. По стандартам и справочникам описать марки сталей, их химический состав, свойства и применение. Изучение микроструктуры и свойств конструкционных легированных, инструментальных и углеродистых сталей.	**33**
Практическая работа №5. Изучение структуры и свойства стали после термической и химико-термической обработки по кодограммам	**40**
Практическая работа №6. По стандартам и справочникам описать марки алюминия и его сплавов их химический состав, свойства и применение.	**48**
Практическая работа №7. По стандартам и справочникам описать марки титана и его сплавов, их химический состав, свойства и применение	**51**

ВВЕДЕНИЕ

Тематика практических работ соответствует основным разделам программы, их выполнение обеспечивает более глубокое изучение материала, направлены на закрепление и систематизацию знаний, умений и формирование компетенций. Видом практических работ является решение практических заданий.

Практические работы по дисциплине выполняются после изучения теоретического учебного материала по темам.

Методические указания по проведению практических работ ориентированы на достижение следующих целей:

- формирование практических умений и навыков обращения с различными приборами, установками, оборудованием, аппаратурой, которые составляют часть профессиональной практической подготовки;

- развитие технического мышления – умения наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимость, делать выводы и обобщения, оформлять результаты.

На практических работах студенты овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе учебной и производственной практики.

Дидактические цели практических занятий:

– формирование умений и навыков (аналитических, проектировочных, конструктивных), необходимых для изучения последующих дисциплин (модулей) и для будущей профессиональной деятельности. Формируемые умения и навыки (деятельность студента):

– пользоваться измерительными приборами, аппаратурой, инструментами;

– работать с нормативными документами и инструктивными материалами, справочниками;

– составлять техническую документацию;

– выполнять чертежи, схемы, таблицы;

– решать разного рода задачи;

– выполнять вычисления;

– определять характеристики различных веществ, предметов, явлений;

– формировать интеллектуальные умения — аналитические, проектировочные, конструктивные, связанные с необходимостью анализировать процессы, состояния, явления и др., проектировать на основе анализа свою деятельность, намечать конкретные пути решения той или иной практической задачи, конструировать по заданному алгоритму, диагностировать тот или иной процесс, анализировать различного рода производственные ситуации, разрабатывать технологию эксперимента и т.д.

Перед выполнением практических работ осуществляется инструктаж по выполнению заданий. По окончанию работ проводится обсуждение итогов выполнения работ.

Формы организации студентов на практических работах: фронтальная, групповая, индивидуальная.

Оценки за выполнение практических работ выставляются по пятибалльной системе (или в форме зачета) и учитываются как показатели текущей успеваемости студентов.

Для подготовки к выполнению практических работ рекомендуется следующая литература:

Основные источники:

1. Черепахин А.А. Основы материаловедения (металлообработка): учеб.пособие для студ.учреждений СПО / А.А. Черепахин . - М.: Издательский центр "Академия", 2022. - 208 с.

Дополнительные источники:

1.Адаскин, А.М. Материаловедение и технология материалов [Текст] : учеб. пособие для СПО / А.М. Адаскин, В.М. Зуев. - М : ФОРУМ, 2010. - 336 с. : ил. - (Профессиональное образование).

2. Стуканов В. А. Материаловедение: учебное пособие – М.: ИД «ФОРУМ» ИНФРА – М, 2011. – 368 с.: ил.- (Профессиональное образование)

3. Сеферов Г.Г., Батиенков В.Т., Сеферов Г.Г., Фоменко А.Л. Материаловеденик: Учебник / Под ред. В.Т.Батиенкова. – М.: ИНФРА –М, 2009. – 150 с. – (Среднее профессиональное образование)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1
«Измерения твердости по Роквеллу и Бринеллю»

Цель работы:

1. Ознакомиться с методами определения твердости по Бринеллю и Роквеллу**.**

2. Ознакомиться с условиями применения того или иного метода определения твердости; подготовкой образцов для измерения твердости.

3. Проследить зависимость твердости металлов от состава сплава.

Порядок выполнения работы.

1.Изучить теоретическую часть работы.

2.Ознакомление со схемами измерения твердости по Роквеллу и Бринеллю.

3. Определить расчетным путем твердость материалов.

4. Провести сравнения шкал твердостей.

5.Сделать вывод по работе

Краткая теоретическая часть.

1.Определение твердости методом Бринелля

Твердость характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям. Наиболее распространенные методы определения твердости связаны с внедрением в испытуемый материал специального тела, называемого *индентором,* с таким усилием, чтобы произошла пластическая деформация. В материале при этом остается отпечаток индентора, по которому судят о величине твердости. Определение твердости — наиболее распространенный метод исследования свойств материала. Это объясняется рядом причин: определение твердости является неразрушающим методом, так как деталь после такого измерения может быть использована по назначению; испытания на твердость не требуют высокой квалификации; зная твердость, можно судить и о других механических свойствах.

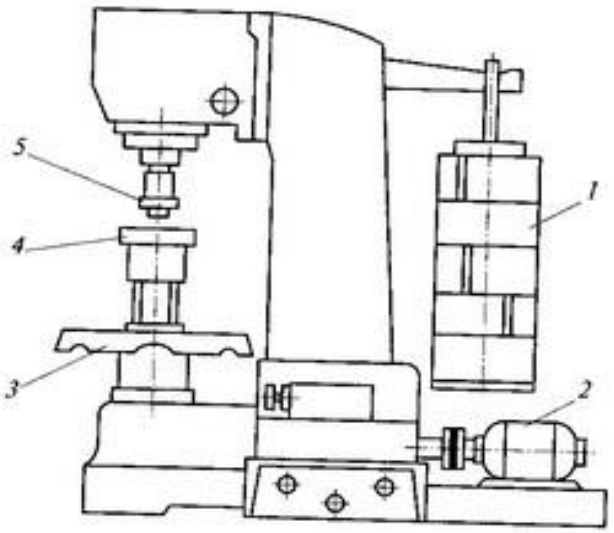


Рис. 3.8. Схема пресса Бринелля:

1 — груз; *2* — электродвигатель; *3* — маховик вращения винта для создания предварительной нагрузки; *4* — установочный стол; *5* — держатель индентора

Метод Бринелля. В качестве индентора используется стальной закаленный шарик, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе (рис.3.8). В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки (рис. 3.9). Диаметр отпечатка измеряют в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью микроскопа Бринелля — лупы со шкалой. *Число твердости* НВ, кгс/м м², — это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле НВ = *2P/D[D — (D2 — d2)]V,* где ***P*** — прилагаемая нагрузка; *D* и *d* — соответственно диаметр шарика и отпечатка.

На практике пользуются таблицей, в которой указаны значения твердости в зависимости от диаметра отпечатка. Диаметр шарика и нагрузку выбирают так, чтобы соблюдалось соотношение *d*= (0,25…0,5)*D,* т.е. для разных материалов эти параметры различны. При диаметре индентора 10 мм, нагрузке 3000 кгс (29430 Н) и времени выдержки под нагрузкой 10 с твердость обозначается только цифрами и латинскими буквами, например 200 НВ. Эти условия приняты для определения твердости сталей и чугунов. При изменении условий испытаний помимо значений твердости указываются диаметр шарика, усилие и время выдержки под нагрузкой. Например, 185 НВ/5/750/20, здесь 5 — диаметр шарика в мм, 750 — нагрузка в кгс (7 350 Н), 20 — время выдержки под нагрузкой в с.

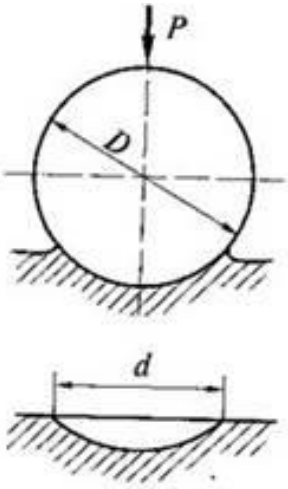


Рис. 3.9. Схема определения твердости по Бринеллю: *P* — нагрузка

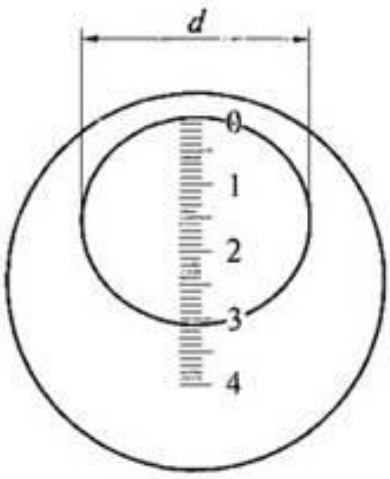


Рис. 3.10. Измерение диаметра отпечатка лупой Бринелля

Метод Бринелля не является универсальным. Он не позволяет испытывать материалы с твердостью более 450 НВ (может деформироваться шарик), а также образцы толщиной менее десятикратной глубины отпечатка.

Между твердостью по Бринеллю и пределами прочности и текучести соблюдаются следующие примерные соотношения: для стали НВ/3, НВ/6; для алюминиевых сплавов 0,362 НВ; для медных сплавов 0,26 НВ.

Твёрдость по Бринеллю определяется по формуле, указанной в таблице 1(когда усилие выражено в кгс). При определении твёрдости по Бринеллю за диаметр отпечатка d принимают среднеарифметическое значение результатов измерений.

Обозначается твёрдость по Бринеллю численным значением и символом HB, после которых указывается диаметр шарика и приложенное усилие. Только когда твёрдость по Бринеллю определяется шариком диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс и продолжительности выдержки 30 секунд, обозначение результата представляет собой лишь числовое значение и HB, например 285 HB.

Метод Роквелла — твёрдость определяется по относительной глубине вдавливания металлического шарика или алмазного конуса в поверхность тестируемого материала. Твёрдость, определённая по этому методу, является безразмерной и обозначается HR, HRB, HRC и HRA; твёрдость вычисляется по формуле HR = 100 (130) − *kd*, где *d* — глубина вдавливания наконечника после снятия основной нагрузки, а *k* — коэффициент. Таким образом, максимальная твёрдость по Роквеллу по шкалам A и C составляет 100 единиц, а по шкале B — 130 единиц.

Таблица 1. Таблица некоторых (с точностью до 0,1) значений твёрдости по Бринеллю, диаметр шарика 10 мм; d (mm) - диаметр отпечатка шарика

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

d (мм)	Сила давления, P (кгс)			
	3000	**1000**	**500**	**250**
2	945,76	315,25	157,63	78,81
2,1	856,93	285,64	142,82	71,41
2,2	779,93	259,98	129,99	64,99
2,3	712,75	237,58	118,79	59,40
2,4	653,79	217,93	108,96	54,48
2,5	601,76	200,59	100,29	50,15
2,6	555,61	185,20	92,60	46,30
2,7	514,50	171,50	85,75	42,87
2,8	477,71	159,24	79,62	39,81
2,9	444,65	148,22	74,11	37,05
3	414,85	138,28	69,14	34,57
3,1	387,88	129,29	64,65	32,32
3,2	363,40	121,13	60,57	30,28
3,3	341,10	113,70	56,85	28,43
3,4	320,75	106,92	53,46	26,73
3,5	302,11	100,70	50,35	25,18
3,6	285,00	95,00	47,50	23,75
3,7	269,25	89,75	44,88	22,44

http://www.modificator.ru/terms/brinell.html

Чем твёрже материал, тем меньше будет глубина проникновения наконечника в него. Чтобы при большей твёрдости материала не получалось большее число твёрдости по Роквеллу, вводят условную шкалу глубин, принимая за одно её деление глубину,

равную 0.002 мм. При испытании алмазным конусом предельная глубина внедрения составляет 0.2 мм, или 0.2 / 0.002 = 100 делений, при испытании шариком — 0.26 мм, или 0.26 / 0.002 = 130 делений.

Таблица 2. Наиболее широко используемые шкалы твёрдости по Роквеллу.

Шкала	Индентор	Нагрузка, кгс
A	Алмазный конус с углом 120° при вершине	60
B	Шарик диаметром 1/16 дюйма из карбида вольфрама (или закалённой стали)	100
C	Алмазный конус с углом 120° при вершине	150

Чем твёрже материал, тем меньше будет глубина проникновения наконечника в него. Чтобы при большей твёрдости материала не получалось меньшее число твёрдости по Роквеллу, твёрдость определяют по формуле:

$$HR = N - \frac{H - h}{s}$$

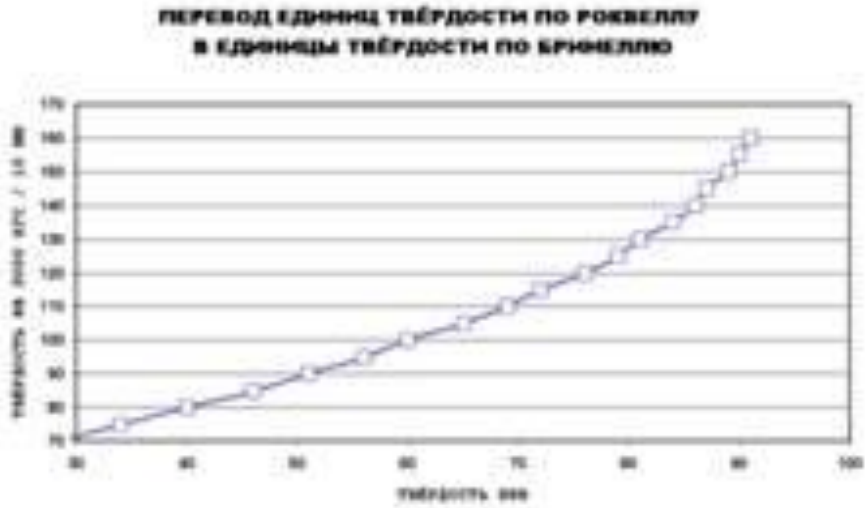
где разность — относительная глубина проникновения индентора под предварительной и основной нагрузками в мм, — константы, зависящие от конкретной шкалы Роквелла (см. таблицу «Наиболее часто используемые шкалы Роквелла» https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%A0%D0%BE%D0%BA%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0).

Твёрдость по Роквеллу является безразмерной величиной.

Факторы, влияющие на точность измерения

1. Важным фактором является толщина образца. Не допускается проверка образцов с толщиной менее десятикратной глубины проникновения наконечника
2. Ограничивается минимальное расстояние между отпечатками (3 диаметра между центрами ближайших отпечатков)
3. Недопущение параллакса при считывании результатов с циферблата.

Сравнение шкал твёрдости



Простота метода Роквелла (главным образом, отсутствие необходимости измерять диаметр отпечатка) привела к его широкому применению в промышленности для

проверки твёрдости. Также не требуется высокая чистота измеряемой поверхности (например, методы Бринелля и Виккерса включают замер отпечатка с помощью микроскопа и требуют полировку поверхности). К недостатку метода Роквелла относится меньшая точность по сравнению с методами Бринелля и Виккерса. Существует корреляция между значениями твёрдости, измеренной разными методами (см. рисунок — перевод единиц твёрдости HRB в твёрдость по методу Бринелля для алюминиевых сплавов). Зависимость носит нелинейный характер. Имеются нормативные документы, где приведено сравнение значений твёрдости, измеренной разными методами.

В таблице 3 приведены режимы испытания твердости по Роквеллу.

Таблица 3. Режимы измерения твердости по Роквеллу.

Материал	Твердость, НВ	Внедритель	Нагрузка, кгс	Шкала	Обозначение твердости	Предел измерения твердости	Минимальная толщина, мм
Мягкие металлы	<230	Стальной шарик	100	B	HRB	25…100	0,7
Закалённые и отпущенные стали	230-700	Алмазный конус	150	C	HRC	20…67	0,7
Твердые сплавы и тонкие изделия	>700	Алмазный конус	60	A	HRA	70…85	0,4

Задание:

1.Определить твердость металла расчетным путем и проследить зависимость твердости металлов от состава сплава.

2.Сравнить расчетные значения со значениями, измеренными с помощью динамического твердомера ТЭМП-2.

Решение задачи: подставляем в формулу :

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

значения величин, данных в задании и определяем твердость металла расчетным путем.

1- <u>Вариант</u>

D = 5 мм

d = 3 мм

2- <u>Вариант</u>

D = 10 мм

d = 6 мм

Материал:

1. Сталь: **P = 30*D2**
2. Бронза**: P = 10*D2**
3. Алюминий**: P = 2,5*D2**

Отчет о проделанной работе.

1. Название и цель лабораторной работы.

2. Описание методов определения твердости по Бринеллю и Роквеллу.
3. Сравнить значения параметров твердости, определенных расчетным и практическим путем.
4. Вывод.

Контрольные вопросы:
1. Что такое твердость?
2. Классификация методов измерения твердости.
3. Сущность измерения твердости по Бринеллю.
4. Сущность измерения твердости по Роквеллу.
5.До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
6. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Из каких условии выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Пример записи твердости по Бринеллю?
8. Сущность измерения твердости по Роквеллу?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2
Тема занятия: «Изучение строения структурных составляющих диаграммы железо – углерод»

Цель работы

1. Ознакомиться с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов и изучить природу превращений в углеродистых сталях при медленном непрерывном охлаждении.
2. Изучить микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии.
3.Изучить влияние содержания углерода на механические свойства медленноохлажденных сталей.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Провести анализ диаграммы состояния системы «железо – углерод» по отдельным точкам, линиям и областям
3. Записать структурные превращения в сплавах, содержащих 4% углерода
4. Схема микроструктуры контрольного сплава при нормальной температуре (см. Таблицу №4).
5. Сделать вывод по работе

Краткая теоретическая часть.

Диаграмма состояния — графическое изображение, показывающее фазовый состав сплавов в зависимости от температуры и концентрации химических элементов в условиях равновесия.

Диаграмма железо-углерод, как ясно из названия, должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение – цементит Fe3C. Следовательно, компонентами данной диаграммы можно считать железо и цементит.

Принципиально важным для железо-углеродистых сплавов является то, что основной компонент - железо существует в двух аллотропических модификациях: объемноцентрированного куба (Fe□ - ОЦК) и гранецентрированного куба (Fe□ - ГЦК).

Обычно железо никогда не бывает абсолютно чистым, оно всегда содержит примеси. В настоящее время можно получить железо высокой чистоты, минуя доменную плавку, - железо прямого восстановления (примеси □0, 01%), но чаще используют техническое железо (армко железо), которое содержит □ 99,8-99,9% железа и 0,1-0,2%примесей. Железо имеет высокую температуру плавления – 1539о С 5 о С.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911о С и 1392о С.

При температуре ниже 911о С существует Fe□ с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур 911…1392о С устойчивым является Fe□ с гранецентрированной кубической решеткой.

Выше 1392о С железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется Fe□ или высокотемпературное Fe□. Высокотемпературная модификация Fe□ не представляет собой новой аллотропической формы.

При температуре ниже 768о С железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно (немагнитно). Точка Кюри железа 768о С обозначается А2.

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – , предел текучести –) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение – , а относительное сужение –). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

Цементит □ химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe3C), содержит 6,67 % углерода. Температура плавления цементита точно не установлена (1250-1550о С). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217оС.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

В зависимости от содержания углерода железо-углеродистые сплавы делятся на два класса: стали и чугуны.

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 1) сплавы, относящиеся к сталям, расположены в интервале концентраций углерода до 2,14 %, т.е. левее точки Е.

Чугуны имеют в своем составе от 2,14 до 6,67% углерода. При Ф+Ц3 727□С 1147□С 911□С 1539□С температурах ниже 727 □С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз □ феррита и цементита.

В зависимости от содержания углерода и структуры сталей различают:

- техническое железо - сплавы, содержащие до 0,02% углерода. - доэвтектоидные стали

- сплавы, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода,

- эвтектоидные стали - сплавы, содержащие 0,8% углерода,

-заэвтектоидные стали - сплавы, содержащие от 0,8 до 2,14% углерода

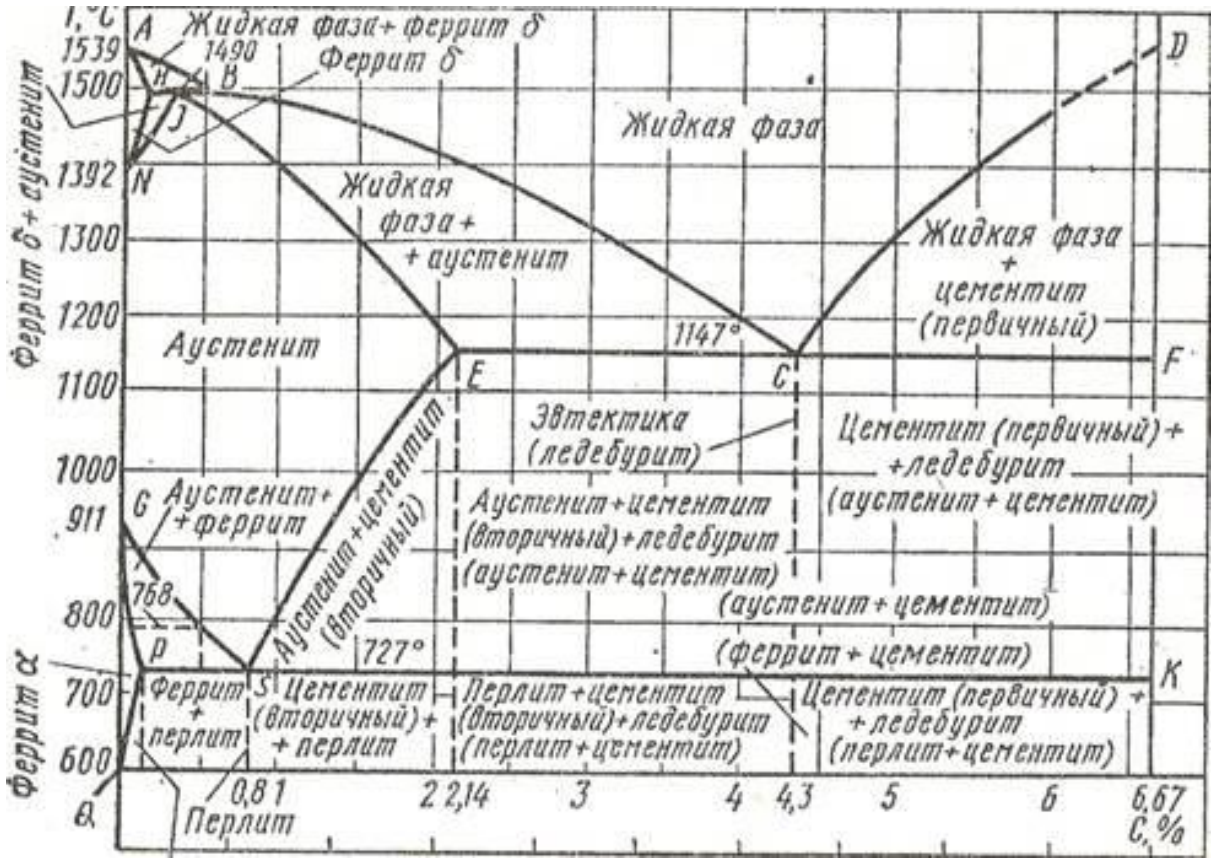


Рис. 1. Диаграмма железо-углерод

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. **Жидкая фаза** представляет собой неограниченный раствор железа и углерода, распространяющийся выше линии ликвидус ACD – от 0 до 6.67 %С. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. **Твердые растворы.** В данной системе имеются твердые растворы железа с углеродом на основе двух кристаллических модификаций железа. Они являются твердыми растворами внедрения, т.е. атомы железа занимают узлы пространственной решетки, а атомы углерода размещаются в междоузлиях.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в -железо. В феррите сохраняется кристаллическая решетка □ -железа – объемно-центрированный куб. Феррит занимает на диаграмме узкую область, примыкающую к железу QPG, имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,025 % при температуре 727о С (точка Р). Углерод располагается в дефектах решетки. Свойства феррита близки к свойствам железа. Твердость феррита около 800–1000 МПа, предел прочности σв 250 МПа; σт 120 МПа, относительное удлинение (δ) до 50 %, а поперечное сужение φ -до 80 %. До температуры 768° С феррит ферромагнитен, выше – парамагнитен.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в □-железо. Значительно большую область на диаграмме железо-углерод занимает твердый раствор углерода в γ-железе с ГЦК-решеткой, который называется аустенитом. Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки. Аустенит имеет переменную

предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727о С (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147о С (точка Е). Аустенит имеет твердость 1700 – 2000 МПа (200…250 НВ), σв 50 – 80МПа, пластичен (относительное удлинение –). При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

3. Цементит – характеристика дана выше. В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры: перлит, феррит, вторичный цементит Ц2 и третичный цементит Ц3. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Ц1 выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Ц2 выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Ц3 выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Все линии диаграммы можно разделить на следующие группы:

линии ликвидус – начало затвердения при охлаждении или конец плавления при нагревании;

линии солидус – конец затвердевания при охлаждении и начало плавления при нагревании; линии превращения в твердом состоянии.

Из них особо выделяются горизонтальные линии (параллельные оси составов).

В табл.1 приведены основные характеристики линий диаграммы.

Таблица 1-Характеристики линий диаграммы

Индекс линий	Температурный интервал, °С	Интервал концентраций (% углерода)	Основная характеристика линии
			Линия ликвидуса
AC	1539° – 1147°	0 – 4,3	Линия ликвидус (начало затвердевания А).
CD	1147° 1600°	4,3 – 6,67	Линия ликвидус (начало затвердевания Ц1)
			Линия солидуса
AE	1539° – 1147°	**0-2,14**	Конец затвердевания А
ECF	1147°	2,14 – 6,67	Линия эвтектического равновесия
			Линии превращения в твердом состоянии
SE	**727-1147**	**0,8-2,14**	Линия ограниченной растворимости углерода в А. Начало выделения вторичного цементита.
GS	**911-727**	**0,-0,8**	Начало аллотропического превращения А в Ф
GP	**911-727**	**0-0,025**	Конец аллотропического превращения А в Ф
PSK	**727**	**0,025-6,67**	Линия эвтектоидного равновесия А, Ф, Ц
PQ	**727- комнатной**	**0,025-0,006**	Линия выделения ЦIII

Таблица 2- Концентрация углерода в характерных точках диаграммы

Индекс	**Содержание углерода,%**	Температура, °С	**характеристика**
A	**0**	**1539**	Точка затвердевания жидкого железа
C	**4.3**	**1147**	Состав жидкой фазы при эвтектическом равновесии с А и Ц
E	**2.14**	**1147**	Предельное содержание углерода в аустените. Состав А при эвтектическом равновесии с жидкой фазой и Ц
S	**0.8**	**727**	Состав А при эвтектоидном равновесии с Ф и Ц
P	**0.025**	**727**	Предельное содержание углерода в Ф. Состав Ф при эвтектоидном равновесии с А и Ц
Q	**0.006**	**комнатная**	Предельное содержание углерода в Ф при комнатной температуре

Эвтектика системы железо – цементит называется ледебуритом (Л), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода.

При температуре ниже 727о С в состав ледебурита входят Ц1 и П.

По линии МО при постоянной температуре 768о С имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727о С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что А, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь Ф и Ц2:

По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода (П=Ц2+Ф).

Таблица 3-Линии трехфазного равновесия

Индекс линии	Температура равновесия, о С	Фазы, находящиеся в равновесии
ECF	**1147**	Ж+А+Ц
PSK	**727**	А+Ф+Ц

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск. Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского arret – остановка):

А1 – линия PSK (727 0С) – превращение П А;

А2 – линия МО (768 0С, т. Кюри) – магнитные превращения;

А3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф А;

А4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение ;

Асm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается А3).

Так как при нагреве и охлаждении совершаются различные превращения, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е Ас1, при охлаждении – букву r, т.е. Ar1.

Микроструктура фаз диаграммы железо-углерод.

При охлаждении доэвтектоидной стали из аустенита вначале выделяется феррит. Размер Ф-зерен в значительной степени зависит от скорости охлаждения А.

При рассмотрении в микроскоп Ф наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости (Приложение, рис. 1).

По мере увеличения концентрации углерода в доэвтектоидной стали количество зерен Ф убывает (Приложение, рис. 2), а количество П увеличивается.

В сплавах, содержащих 0,5-0,75 % С зерна Ф располагаются по границам зерен другой структурной составляющей П в виде разорванной сетки (Приложение, рис. 3).

В доэвтектоидной стали П в большинстве случаев имеет пластинчатое строение. Темные пластинки, видимые в П, представляют собой тени, отбрасываемые на участки Ф выступающими после травления участка Ц. Форма выделения перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига. Форма и размер частиц цементита в перлите существенно влияют на свойства стали. Так, например, зернистый перлит более пластичен и имеет меньшую твердость, чем пластинчатый. Твердость зернистого перлита 160-220 НВ, а пластинчатого 200-250 НВ. С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Форма цементитных частиц влияет на обрабатываемость стали резанием. Доэвтектоидные стали хорошо обрабатываются резанием, если имеют структуру пластинчатого перлита, а эвтектоидные и заэвтектоидные зернистого.

В заэвтектоидных сталях возможно выделение Ц2 в виде сетки по границам зерен П (Приложение, рис. 5). Это происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре и является значительным дефектом заэвтектоидной стали, ухудшает ее прочность и вязкость. Еще одной, но более редко встречающейся формой выделения Ц, также сильно ухудшающей механические свойства, является образование его в виде игл (вследствие значительного перегрева).

Итак, можно выделить четыре типа структур сталей.

Первый тип структуры Ф+Ц3 наблюдается в низкоуглеродистых сталях, содержащих до 0,02 % С (т. Р). Такие стали называются техническим железом.

Второй тип структуры Ф+П наблюдается в доэвтектоидных сталях, содержащих от 0,02 до 0,8 % С (т. S). Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ней перлита.

Третий тип структуры П наблюдается в эвтектоидной стали, содержащей 0,8 % С.

Четвертый тип структуры П+Ц2 наблюдается в заэвтектоидной стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % (т. Е).

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

 Цель работы.

 Основные положения по теме работы.

 Зарисовать диаграмму состояния железо-углерод, микроструктуру всех фаз.

 Выводы.

К защите практической работы допускаются студенты, предъявившие полностью оформленный отчет, содержащим выводы по работе.

Контрольные вопросы

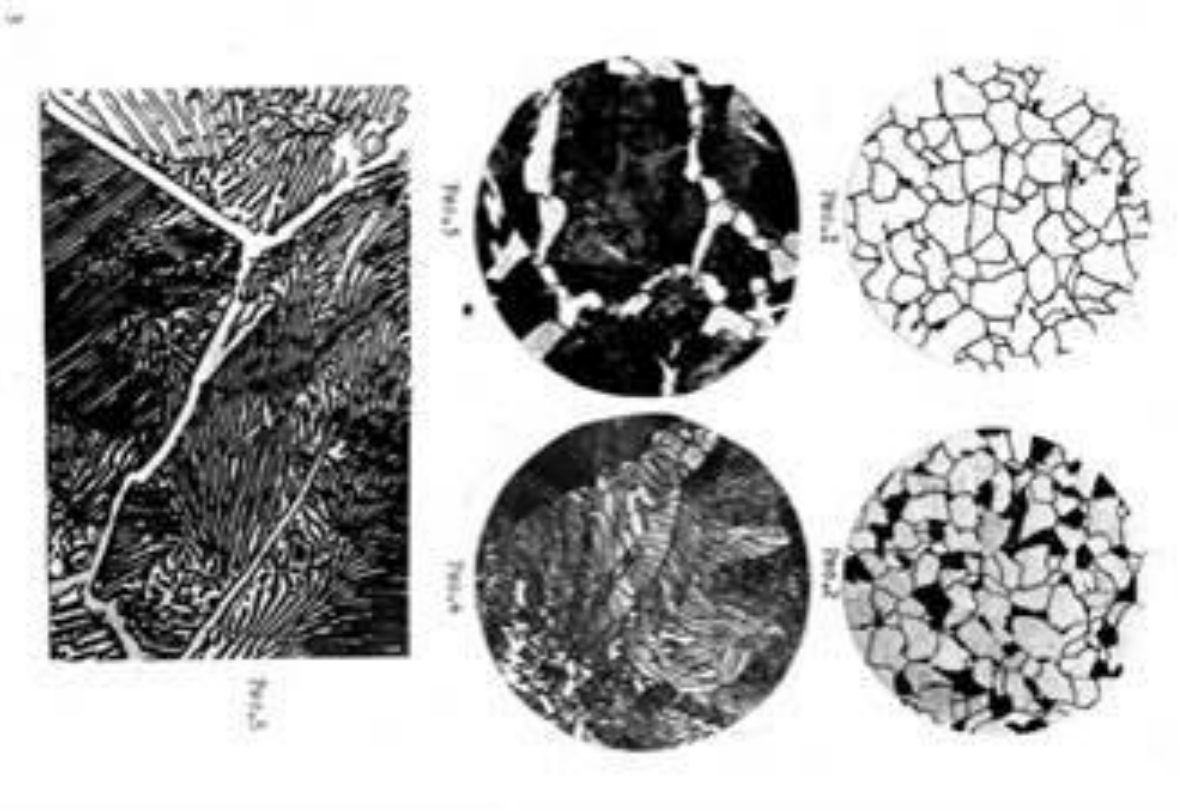
1. Какое содержание углерода в эвтектоидной стали?
2. Какую кристаллическую решетку имеют -- и -железо?
3. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит?
4. Укажите название областей на стальной части диаграммы.
5. Какие процессы протекают в стали при ее охлаждении в области 727 С?
6. Покажите линии ликвидус и солидус на Вашей диаграмме. Что они обозначают?
7. Что показывает фазовый состав сплава?
8. Опишите структуру сплава.
9. Какое максимальное содержание углерода в аустените?
10. Какое максимальное содержание углерода в феррите?
11. Как влияет содержание углерода на свойства стали?

Схема микроструктуры контрольного сплава при нормальной температуре.

Таблица 4. Варианты контрольных сплавов

№ п/п	% С	№ п/п	% С	№ п/п	% С
1	0,2	11	5,1	21	1,2
2	1,1	12	2,8	22	3,5
3	3,0	13	1,1	23	4,3
4	4,3	14	0,45	24	5,5
5	5,0	15	1,7	25	0,15
6	0,02	16	1,0	26	0,8
7	0,35	17	4,5	27	0,9
8	0,8	18	2,7	28	2,4
9	1,3	19	0,7	29	4,7
10	2,5	20	0,4	30	1,2

Приложение



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3
Тема занятия «По стандартам и справочникам описать марки чугунов, их химический состав, свойства и применение. Изучение микроструктуры чугунов»

Цель занятия: Приобрести навыки работы со справочной литературой в процессе расшифровки марок чугунов, описание их химического состава, свойств и применения. Изучение типичных микроструктур чугунов и установление связи между их микро-строением, классификационными признаками и механическими свойствами.

Порядок выполнения работы.
1.Изучить теоретическую часть работы.
2.По стандартам и справочникам описать марки чугунов, их химический состав, свойства и применение.
3.Сделать вывод по работе

Задание:
По стандартам и справочникам описать марки чугунов, их химический состав, свойства и применение. Марки чугунов: СЧ10, СЧ20, СЧ30, СЧ35, КЧ 30-6, КЧ 37-12, КЧ 45-7, КЧ 60-3, КЧ 70-2, ЧВГ 30, ЧВГ 40, ЧВГ 45, ВЧ 35, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 80, ВЧ 100, ЧХ1, ЧХ28П, ЧХ9Н5, ЧХ16М2, ЧХ32, ЧС5Ш, ЧС15М4, ЧЮХШ, ЧГ6С3Ш, ЧН11Г7Ш.

Теоретическая часть
Сплавы железа с углеродом (обычно более 2,14 % С), в структуре которых содержится эвтектика, называют чугунами. Присутствие эвтектики в структуре чугуна обусловливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Углерод в чугуне может находиться в виде цементита или графита или одновременно в виде цементита и графита. Существуют различные классификации чугунов, что объясняется как разнообразием чугунов и их признаков, так и историческими причинами. Классификация чугунов приведена в табл. 1.
Наиболее часто употребляемые классификационные признаки: цвет излома, положение на диаграмме состояния железо-углерод, форма включений графита, структура металлической матрицы, химический состав, технология производства, механические и специальные свойства.
По цвету излома различают белые и серые, половинчатые и отбелённые чугуны. Это первая, неполная классификация чугунов. Цвет излома чугунов зависит в серых чугунах от присутствия свободного углерода в форме графита, а в белых углерод присутствует только в связанной форме в виде цементита. Серые чугуны имеют очень хорошие литейные свойства, хорошо поддаются всем видам механической обработки. Белые чугуны обладают высокой твёрдостью, плохо обрабатываются, имеют более низкие технологические свойства.
По положению на диаграмме состояния различают чугуны доэвтектические (с СЕ < 4,30 %), эвтектические и заэвтектические. Эти чугуны различаются в основном соотношением в их структуре аустенита и графита (или аустенита и цементита) в области температур выше точки эвтектоидного превращения и феррита и графита (или

феррита и цементита) в области температур ниже точки эвтектоидного превращения. Чугуны различаются также содержанием углерода и некоторых других элементов.

По форме включений графита различают чугуны: с пластинчатым графитом, вермикулярным графитом, с шаровидным графитом, с хлопьевидным графитом.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие виды графитизированных чугунов: серые, высокопрочные и ковкие. В серых чугунах графитные включения (в плоскости шлифа) имеют пластинчатую форму. Эти включения напыляют поверхность излома и придают ему серый цвет, поэтому такой сплав называют серым чугуном с пластинчатым графитом. Серый чугун получают в результате естественной кристаллизации из расплава определённого химического состава.

В высокопрочных чугунах графит имеет шаровидную форму (высокопрочный чугун с шаровидным графитом) или промежуточную форму между шаровидной и пластинчатой (высокопрочный чугун с вермикулярным графитом). Высокопрочные чугуны получают внепечной обработкой (модифицированием) расплава с целью полной или частичной сфероидизации графита.

Таблица 1. Классификация и свойства чугунов

Тип чугуна	Графит	Тип металлической матрицы	Показатели свойств			
			литейных	Технологи-ческих	σв, МПа	
серый	Пластинчатый прямолинейный Пластинчатый завихренный Пластинчатый игольчатый Пластинчатый гнездообразный	Ф, Ф + П, П	Высокие	Высокие	150÷480	
С вермикулярным графитом	Вермикулярный извилистый Вермикулярный утолщенный	Ф, П, Ф + П	Высокие	Высокие или средние	320÷500	
Ковкий или модифицированный	Нитевидный Хлопьевидный Компактный плотный	Ф или П	Пониженные	Высокие или средние	300÷370 (ферритный), (перлитный)	
С шаровидным графитом	Шаровидный разорванный Шаровидный звездообразный Шаровидный неправильный Шаровидный правильный	Ф, Ф + П, П	Высокие	Высокие или средние	380÷ 1200	Модифиц магнием, кальцием

В ковких чугунах графитные включения тоже имеют компактную форму, называемую хлопьевидной (ковкий чугун с хлопьевидным графитом), но получают такой графит в результате графитизирующего отжига белого доэвтектического чугуна (часто такой графит называют углеродом отжига).

В половинчатых чугунах могут сочетаться карбиды различных видов и графитные включения разной геометрической формы. Получать чугуны с такой структурой можно как в результате естественной кристаллизации из расплава, так и с помощью термической обработки отливок.

Чугуны с графитом являются прекрасным высокотехнологичным материалом для машиностроения. Во всех случаях, где по условиям работы физикомеханические свойства чугуна соответствуют требованиям, предъявляемым к деталям, особенно если детали имеют сложную форму, следует при выборе материала отдавать предпочтение чугунам. В этом случае становится предопределённым и выбор одного из видов литейных технологий, поскольку чугун не подвергают обработке давлением. Расплав чугуна обладает хорошей жидкотекучестью, малой склонностью к образованию усадочных дефектов. Из него можно изготавливать отливки самой сложной конфигурации с толщиной стенок 2□500 мм.

В ГОСТ 3443–87 приведена шкала оценки форм графита в чугунах, которая включает 13 различных форм от пластинчатой прямолинейной до шаровидной правильной (табл. 1). В действительности форм графита в чугунах больше, кроме того, в одной отливке часто встречаются участки структуры с различными формами.

Размеры включений графита оценивают по длине или диаметру этих включений. В ГОСТ 3443–87 приведены эталоны оценки размеров включений графита, а также предусмотрена оценка графита по распределению (девять форм) и по количеству.

Роль металлической матрицы усиливается по мере перехода от пластинчатой формы графита к шаровидной. Шаровидный графит в значительно меньшей степени, чем пластинчатый, выполняет роль концентратора напряжений и тем самым позволяет реализовать свойства матрицы на гораздо более высоком уровне.

По структуре металлической матрицы (ГОСТ 3443–87) различают чугуны: ферритные; с пластинчатым перлитом (Пт1); с зернистым перлитом (Пт2); трооститные; бейнитные; мартенситные.

Если в чугуне имеется металлическая основа различных типов, следует визуально оценивать долю (%) каждого типа и указывать эти доли при обозначении структуры. Такая оценка обязательна для ферритно-перлитных чугунов, и ГОСТ 3443–87 предусматривает девять баллов для оценки соотношения перлита и феррита в чугуне. Дисперсность перлита оценивается пятью баллами. Кроме того, предусматривается оценка включений фосфидной эвтектики, цементита, ледебурита и размеров эвтектического зерна.

Полное описание структур чугуна состоит из слов или индексов, приведенных в ГОСТ.

Пример словесного описания чугуна: структура чугуна с равномерно распределенным пластинчатым графитом прямолинейной формы длиной 60□120 мкм; перлит пластинчатый в количестве 30□60 % с межпластинчатым расстоянием 0,5 мкм; фосфидная эвтектика тройная, игольчатого строения, в виде отдельных включений площадью 2000□10000 мкм2 .

По химическому составу различают чугуны обычные и легированные. Классификация серых и других нелегированных чугунов приведена выше. Чаще всего выделяют чугуны низколегированные (до 3 % легирующих элементов), среднелегированные (3□10 %) и высоколегированные (более 10 %).

Обычно легированные чугуны – это чугуны специального назначения со специальными свойствами.

Легированные чугуны подразделяют по назначению, химическому составу и структуре.

По назначению различают легированные чугуны жаропрочные, жаростойкие, износостойкие, коррозионно-стойкие, с повышенной ударной вязкостью, немагнитные и др. Эти свойства придает чугунам легирование никелем, хромом, кремнием, алюминием, марганцем, медью, молибденом, ванадием и некоторыми другими элементами.

По составу легированные чугуны разделяют на алюминиевые, хромистые, никелевые, кремнистые, марганцовистые и др. Обычно состав этих чугунов сложный и в них присутствует более чем один легирующий элемент. Легированные чугуны классифицируют по элементу, который по содержанию преобладает 154 в составе данного чугуна. Однако в литературе часто встречаются и названия "хромоникелевый", "хромо-никель-молибденовый" чугун и т.д., т.е. по содержанию преобладает более одного элемента.

Структура для легированных чугунов является в меньшей степени классификационным признаком, чем для нелегированных, так как свойства легированных чугунов в большей степени зависят от их состава. Среди легированных чугунов встречаются чугуны с особой структурой матрицы – аустенитные, бейнитные, трооститные, мартенситные – и со структурой, похожей на структуру нелегированных чугунов, например алюминиевые чугуны с А1 ≤ 4 %. Последние чугуны ввиду сходства их структуры со структурой нелегированных чугунов иногда вообще не относят к легированным.

Алюминиевые чугуны (А1 ≤ 4 %) применяют чаще всего для получения отливок с повышенной кавитационной стойкостью, а также взамен серого и высокопрочного чугунов для отливок с повышенными требованиями к вязкости, ударной стойкости. Чугун с А1 > 4 % применяют как жаростойкий и износостойкий.

Хромистые и хромоникелевые легированные чугуны нашли наибольшее применение для изготовления износостойких, жаростойких и коррозионностойких изделий. С повышением содержания хрома и никеля возрастают специальные свойства чугуна. Содержание хрома в таких чугунах 0,5□30 %, а никеля – 0,5□5,0 %.

Никелевые чугуны обычно содержат и хром, но с преобладанием в составе никеля (0,3□20 %). С увеличением содержания никеля структура чугуна постепенно изменяется, при определённом его содержании становится аустенитной.

Аустенит немагнитен, поэтому никелевые чугуны применяют как немагнитные, а также коррозионно-стойкие преимущественно в морской воде, жаропрочные и хладостойкие.

Кремнистый чугун содержит 4,5□18,0 % кремния и применяется в основном как окалиностойкий, ростоустойчивый и коррозионно-стойкий. Марганцовистый чугун

содержит до 12 % марганца и отличается аустенитной или мартенситной структурой матрицы.

Марганцовистые чугуны применяют в основном как антифрикционные и немагнитные.

По технологии производства различают чугуны вагранoчной, индукционной, дуговой плавки, а также синтетические и модифицированные, подвергнутые внепечной обработке. Технология производства различных типов чугунов в значительной степени зависит от параметров чугуна, температуры, наличия и состава примесей и неметаллических включений в чугуне.

По механическим и специальным свойствам чугуны делят на серые, ковкие, высокопрочные и легированные со специальными свойствами.

Графитизация чугунов

Образование графита в железоуглеродистых сплавах из расплава может происходить только в узком интервале температур между линиями стабильной и метастабильной диаграмм системы Fe–C (рис. 1), т.е. в условиях малых пере- 155 охлаждений или при очень малых скоростях охлаждения. Поэтому структура графитизированных чугунов формируется при медленном охлаждении расплава, тогда как образование структуры белого чугуна происходит при более быстром охлаждении.

Альтернативный способ образования графита состоит в том, что поскольку цементит является неустойчивым (метастабильным) соединением, то при определённых условиях он распадается с образованием твёрдого раствора (аустенита или феррита) и графита. Для осуществления процесса графитизации необходима диффузия углерода и самодиффузия железа. При комнатной температуре этот процесс практически не протекает, но с повышением температуры резко ускоряется.

Серые технические чугуны представляют собой сплавы Fe–C–Si, содержащие обычно 2,8□3,8 % C, 1,4□3,5 % Si и в качестве постоянных примесей Mn, P и S. Поэтому при изучении структурообразования в техническом чугуне нужно пользоваться не диаграммой состояния железо–углерод, а тройной диаграммой железо–углерод–кремний. В отличие от сплава Fe–C в сплавах Fe–C–Si перитектическое, эвтектическое и эвтектоидное превращения протекают не при постоянной температуре, а в некотором интервале температур. Ускоренное охлаждение чугуна в реальных условиях вносит существенные отклонения от равновесной структуры. Структура чугуна в отливках зависит в первую очередь от химического состава (содержания углерода и кремния) и скорости кристаллизации.

Кремний способствует процессу графитизации, действуя в том же направлении, что и замедление скорости охлаждения. Изменяя химический состав чугуна и скорость охлаждения, можно получить различную структуру металлической основы чугуна.

При недостаточном содержании в чугуне кремния и углерода в его структуре может кристаллизоваться ледебурит, т. е. вместо структуры серого чугуна может формироваться структура половинчатого или даже белого чугуна. Однако в сплаве Fe–C–Si цементит и ледебурит – очень неустойчивые (метастабильные) составляющие и в результате термической активации (высокотемпературного отжига) распадаются с образованием графита (углерода отжига) по реакции Fe3C → А + Г. Эта реакция лежит в основе процесса получения ковких чугунов. Таким образом, графитизация чугунов

может происходить как в процессе их кристаллизации из расплава, так и в результате последующей термической обработки (графитизирующего отжига).

На процесс графитизации влияют не только кремний и углерод (усиливающие склонность к графитизации, кремний также способствует образованию ферритной структуры в чугуне), но и другие элементы (легирующие и примеси). Медь и никель способствуют графитизации первичного и эвтектического цементита, но повышают устойчивость эвтектоидного цементита (способствуют перлитизации структуры). Карбидообразующие элементы (Cr, Mn, V, W, Mo) повышают устойчивость всех видов цементита и способствуют формированию структуры белых и половинчатых чугунов. В графитизированных чугунах они увеличивают количество перлита в структуре.

Серые чугуны с пластинчатым графитом.

Благодаря пластинчатому графиту в сером чугуне обеспечивается уникальное сочетание высоких антифрикционных свойств, износостойкости, малой чувствительности к концентраторам напряжений и высокой демпфирующей способности. Серый чугун имеет примерно одинаковую конструктивную прочность в отливках простой формы или с ровной поверхностью и сложной формы с надрезами или с грубо обработанной поверхностью. Графит повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного «смазывающего» действия и повышения прочности плёнки смазочного материала. Очень важно, что графит улучшает обрабатываемость резанием, делая стружку ломкой.

В основу стандартизации серого чугуна (СЧ) заложен принцип регламентирования минимально допустимого значения временного сопротивления разрыву (предела прочности при растяжении) σв, определяемого в образцах, вырезанных из стандартной литой заготовки диаметром 30 мм. Серые чугуны по ГОСТ 1412– 85 маркируют буквами СЧ (серый чугун) и числом, указывающим минимальное значение временного сопротивления в килограмм-сила на квадратный миллиметр (1 кгс/мм2 = 10 МПа). Марки и механические свойства серого чугуна приведены в табл..2.

По структуре, свойствам и применению серые чугуны можно разделить на несколько групп.

Ферритные и ферритно-перлитные чугуны СЧ10 и СЧ15 применяют для изготовления малоответственных деталей, испытывающих в работе небольшие нагрузки (при толщине стенки отливки 10□30 мм). Так, чугун СЧ10 используют для изготовления строительных колонн, фундаментных плит, а чугун СЧ15 – литых малонагруженных деталей сельскохозяйственных машин, станков, автомобилей и тракторов, арматуры и т.д.

Перлитные чугуны СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35 применяют для изготовления ответственных отливок (станин мощных станков и механизмов, поршней, цилиндров и других деталей, работающих в условиях изнашивания при больших давлениях, компрессоров, арматуры, дизельных цилиндров, блоков двигателей, деталей металлургического оборудования и т.д.) с толщиной стенки до 100 мм. Структура этих чугунов – мелкопластинчатый перлит (сорбит) с мелкими завихрёнными графитными включениями.

Таблица 2. Механические свойства серых чугунов ГОСТ 1412-85

Марка чугуна	$\sigma_в$, не менее		НВ	Марка чугуна	$\sigma_в$, не менее		НВ
	кгс/мм^2	МПа			кгс/мм^2	МПа	
СЧ00	Не регламентируется			СЧ25	25	245	183÷248
СЧ10	10	98	143÷192	СЧ30	30	294	187÷255
СЧ15	15	147	163÷212	СЧ35	35	343	197÷269
СЧ20	20	196	170÷229	СЧ40	40	392	207÷285

Перлитная металлическая основа в сером чугуне обеспечивает наибольшую прочность и износостойкость. Присутствие в структуре феррита не увеличивает пластичность и вязкость чугуна, но снижает его прочность и износостойкость. Наименьшей прочностью обладает ферритный серый чугун. Связь между химическим составом, структурой и свойствами серых чугунов оценивают по структурным и структурно-прочностным диаграммам.

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом

Существенное повышение механических свойств чугуна достигается при переходе от пластинчатой формы графита к шаровидной или вермикулярной (промежуточной). Для чугуна с шаровидным графитом характерны не только высокая прочность (отсюда и название – высокопрочный чугун), но и значительные пластичность и вязкость, в связи с чем во многих зарубежных стандартах его называют пластичным чугуном.

Высокопрочный чугун получают путем сфероидизирующего модифицирования магнием или редкоземельными металлами (РЗМ).

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом (ВЧШГ) имеют широкий диапазон механических и эксплуатационных свойств. Ферритные чугуны характеризуются наивысшей среди чугунов пластичностью и вязкостью, обеспечивают литым деталям высокие хладо- и ударостойкость, хорошую свариваемость и обрабатываемость резанием. Перлитные ВЧШГ хорошо сопротивляются статическим и циклическим нагрузкам, обладают высокими износо- и задиростойкостью. В бейнитных ВЧШГ сочетаются высокая прочность с достаточной пластичностью, что обеспечивает высокие износостойкость, усталостную прочность и контактную выносливость литых изделий.

Все марки ВЧШГ имеют высокий модуль упругости и значительно большую, чем у стали, демпфирующую способность. Предел текучести у бейнитных чугунов в 2,5□3 раза выше, чем у обычных конструкционных сталей.

По способности выдерживать высокие механические нагрузки при наименьших деформациях и массе деталей ВЧШГ значительно превосходит сталь, ковкий и серый чугун. Масса литых деталей из ВЧШГ может быть на 5□10 % ниже по сравнению с массой деталей из литой стали и ковкого чугуна и на 10□20 % меньше по сравнению со стальными поковками и штамповками.

Характеристики статической прочности ВЧШГ наиболее высокие в условиях сжатия, промежуточные – при изгибе, растяжении и кручении, наименьшие – в условиях

среза. По сравнению с литой углеродистой сталью ВЧШГ при одинаковых прочностных свойствах в условиях растяжения имеют более высокие свойства при изгибе и кручении (в 1,3□1,9 раза) и особенно при сжатии (в 2□4 раза).

Высокопрочные чугуны успешно заменяют углеродистую сталь и другие виды чугунов в деталях, работающих в условиях тепловых ударов, термоусталости (при температурах цикла до 600 °С), низких температур (до –100 °С), умеренно агрессивных сред, высоких давлений, знакопеременных динамических нагрузок.

Высокопрочные чугуны обладают хорошими литейными свойствами, что позволяет изготавливать из них высококачественные отливки с толщиной стенок 161 2,5□1000 мм и массой от нескольких десятков граммов (например, поршневые кольца) до 200 т (станины, цилиндры, контейнеры и др.).

Высокая герметичность в сочетании с ударной и коррозионной стойкостью позволяют эффективно использовать ВЧШГ в виде наиболее экономичного материала для напорных труб и фитингов. Почти половину мирового производства ВЧШГ используют на эти цели.

Принцип маркировки ВЧШГ такой же, как и для серых чугунов: после букв ВЧ указывается минимальное значение предела прочности в килограмм-силе на квадратный миллиметр.

Содержание углерода во всех марках ВЧШГ примерно одинаково и составляет 3,2□3,8 %. Основное различие между марками состоит в содержании кремния и в особенностях технологического процесса изготовления отливок и деталей.

Свойства ВЧШГ регламентированы ГОСТ 7293–85, в котором предусмотрены восемь марок чугуна (табл. 4). Относительное удлинение, твердость НВ, а также ударную вязкость КС определяют при наличии требований в нормативнотехнической документации на отливки, причём значения этих свойств могут отличаться от приведённых в табл. .4.

Таблица 4. Марки и свойства ВЧШГ (по ГОСТ 7293-85)

Марка чугуна	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ, %, не менее	Твёрдость НВ	Ударная вязкость КС при 20 °С, Дж/см^2
	не менее				
ВЧ35	343	216	22	140÷170	80÷150
ВЧ40	392	245	15	140÷202	30÷80
ВЧ45	441	304	10	140÷225	30÷60
ВЧ50	491	314	7	153÷245	30÷50
ВЧ60	589	363	3	192÷277	10÷30
ВЧ70	687	412	2	228÷302	10÷25
ВЧ80	785	471	2	248÷351	10÷30
ВЧ100	981	687	2	270÷360	10÷20

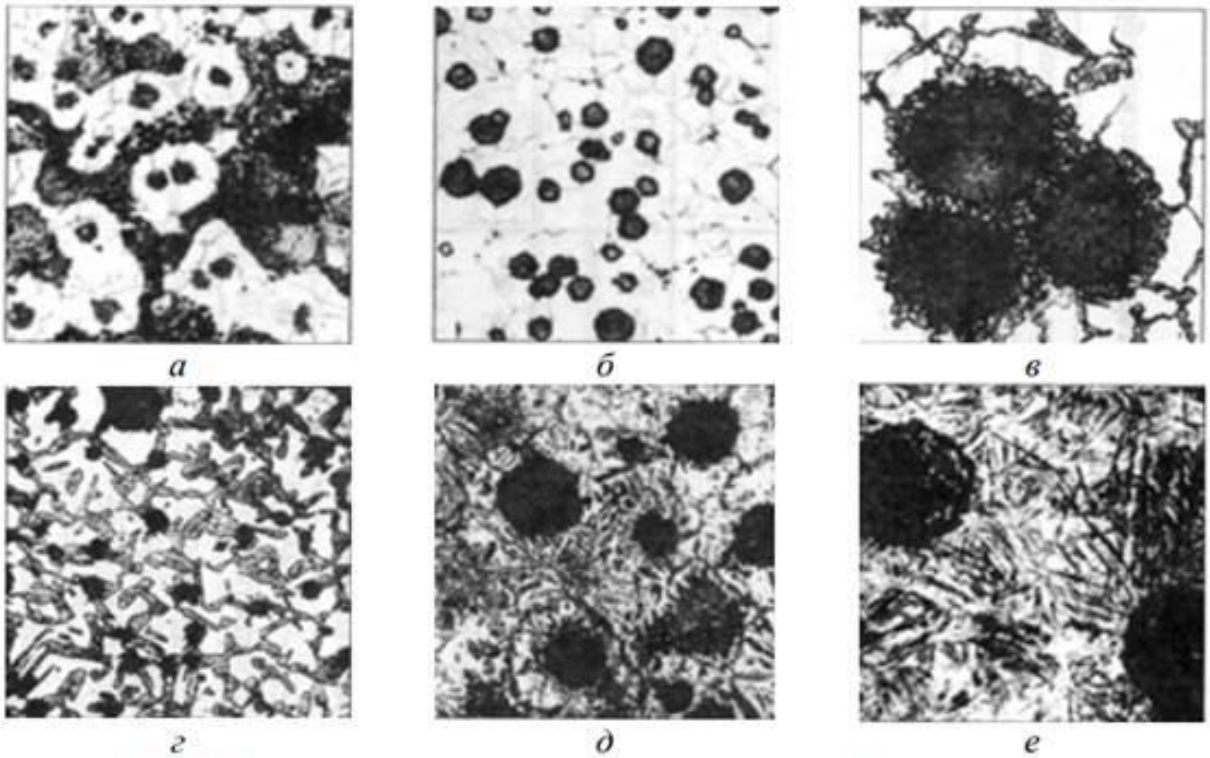


Рис. 5.3. Микроструктуры высокопрочных чугунов с шаровидным графитом до термической обработки *(а, б)* и после неё *(в-е)*:
а - перлитно-ферритная,х 100; *б* – ферритная, х 100; *в* – ферритная с оторочками бейнита вокруг шаровидного графита, х 300; *г* – бейнитно-аустенитная, х 100;
д – бейнитно-мартенситная, х 200; *е* – мартенситная, х 300

Половину мирового производства ВЧШГ составляют литые центробежным способом трубы диаметром 50□2200 мм и длиной 2□8 м. По механическим свойствам трубы из ВЧШГ не уступают стальным, а по долговечности превышают последние в 3□8 раз в связи с более высокой коррозионной стойкостью. Их используют в напорных трубопроводах для воды, нефти, при изготовлении запорной и регулирующей арматуры, работающей в газовой и жидких средах, в том числе и при низких температурах.

Широко применяют ВЧШГ в автомобилестроении для изготовления таких деталей, как коленчатые и распределительные валы, блоки цилиндров, кронштейны рессор, тормозные барабаны, зубчатые колеса, поршни, поршневые кольца и др.

Особое внимание уделяют производству литых деталей из бейнитных чугунов, которые являются одновременно высокопрочными, высоковязкими и высокоизносостойкими сплавами. Применение бейнитных чугунов позволяет в 2 раза повысить предел выносливости коленчатых валов, на 40 % – предел текучести, на 35 % – предел прочности (по сравнению с перлитными чугунами марок ВЧ 50 и ВЧ 60). При этом примерно на 10 % можно снизить массу коленчатых валов.

Чугуны с вермикулярным графитом

Вермикулярный графит имеет форму взаимосвязанных лепестков, но в отличие от пластинчатого графита лепестки вермикулярного графита имеют меньшую длину, большую толщину и округлую форму кромок.

Специфическое сочетание физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств достигается в чугунах с вермикулярным графитом (ЧВГ)

только при условии, что содержание вермикулярного графита в структуре чугуна составляет не менее 80 %, остальное – шаровидный графит; пластинчатый графит не допускается.

По прочности ЧВГ находится на уровне высокопрочных марок серого чугуна (СЧ30□СЧ40) или превосходит их, однако пластичность, ударная вязкость, окалино- и ростоустойчивость, сопротивляемость коррозии, герметичность ЧВГ выше, чем у серого чугуна.

Чугун с вермикулярным графитом превосходит ВЧШГ по демпфирующей способности, теплофизическим и некоторым специальным свойствам (тепло- и температуропроводности, термоусталостной стойкости, размерной стабильности в условиях теплосмен); он более технологичен, чем серые чугуны высоких марок и ВЧШГ. Отливки из ЧВГ, как правило, можно изготавливать без прибылей. По сравнению с серыми чугунами высоких марок и ВЧШГ склонность к отбелу у ЧВГ ниже, что позволяет получать тонкостенные отливки без отбела в литом состоянии.

Чугун с вермикулярным графитом особенно эффективен для изготовления отливок большой массы (например, изложниц массой до 100 т с толщиной стенок до 500 мм), деталей сложной конфигурации независимо от массы (например, блок-картеров и головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания), разностенных деталей. Обрабатываемость резанием ЧВГ лучше, чем ВЧШГ и стали.

Как и у других типов чугуна, структуру металлической основы ЧВГ регулируют посредством легирования и термообработки. Производство ЧВГ требует очень жёсткого металлургического контроля.

В промышленности ЧВГ используется с 1968 г. Самостоятельного ГОСТа на марки ЧВГ до 1991 г. в нашей стране не было. В настоящее время используется ГОСТ 28394-89, в который включены четыре марки чугуна ЧВГ 30□ЧВГ 45 с относительным удлинением δ не менее 3 % для ЧВГ 30 и не менее 0,9 % для ЧВГ 45.

Ковкие чугуны

Ковкий чугун (КЧ) получают графитизирующим отжигом отливок из белого доэвтектического чугуна.При отжиге графит выделяется в виде компактных включений («хлопьевидный» графит, или «углерод отжига»). Благодаря компактному графиту ковкий чугун имеет повышенные значения прочности и пластичности. Повышенная пластичность послужила основанием для названия таких чугунов ковкими.

Ковкий чугун по прочностным свойствам и сочетанию механических свойств и износостойкости уступает ВЧШГ. Однако он превосходит их по хладостойкости и обрабатываемости резанием (особенно ферритный ковкий чугун). Обезуглероженный ковкий чугун является единственным конструкционным чугуном, который хорошо сваривается и может быть использован для получения сварно-литых конструкций. Ковкий чугун хорошо поддаётся запрессовке, расчеканке и легко заполняет зазоры. Отливки из ферритного ковкого чугуна можно подвергать холодной правке, из перлитного – правке в горячем состоянии.

Недостатком ковкого чугуна являются его пониженные литейные свойства, прежде всего жидкотекучесть. Поэтому минимальная толщина стенки в отливках из ковкого чугуна составляет 6 мм. Ограничение толщины стенки отливки максимальным значением 60 мм связано с плохой отжигаемостью исходного белого чугуна в больших сечениях.

В основу стандартизации ковкого чугуна заложен принцип регламентирования минимальных значений предела прочности при растяжении и относительного удлинения. После букв КЧ в марке чугуна указывают два числа – минимальные значения предела прочности в килограмм-силе на квадратный миллиметр и относительного удлинения в процентах. Марки и свойства ковких чугунов в соответствии с ГОСТ 1215–79 приведены в табл. 5.

Механические свойства ковких чугунов определяют на литых образцах диаметром 16 мм. В зависимости от толщины стенки отливки допускают также применение образцов диаметром 8 или 12 мм. Рекомендуемые химические составы ковких чугунов в зависимости от марки и способа их выплавки составляют, %: 2,4□2,8 C 1,□1,6 Si, 0,1□1,0 Mn, до 0,12□0,18 P, до 0,20 S, до 0,08 Cr.

Таблица 5. Марки, свойства и структурные классы ковких чугунов по ГОСТ 1215-79

Марка чугуна	$\sigma_в$, не менее		δ, %, не менее	Твёрдость НВ	Структурный класс
	МПа	кгс/мм^2			
КЧ 30-6	294	30	6	100÷163	Ферритный
КЧ 33-8	323	33	8		
КЧ35-10	343	35	10		
КЧ 37-12	362	37	12		
КЧ 45-7	441	45	7	150÷207	Перлитный
КЧ 50-5	491	50	5	170÷230	
КЧ 55-4	539	55	4	192÷241	
КЧ 60-3	589	60	3	200÷269	
КЧ 65-3	637	65	3	212÷269	
КЧ 70-2	687	70	2	241÷285	
КЧ80-1,5	785	80	1,5	270÷320	

Специальные легированные чугуны

В современном машиностроении необходимо применять отливки из чугунов, обладающие наряду с конструкционной прочностью рядом специальных свойств, которые обеспечивают их надёжную и длительную эксплуатацию в различных агрессивных средах или специфических условиях. Структура и специальные свойства определяются, главным образом, степенью легированности чугуна. К этой группе чугунов по ГОСТ 7769–82 относятся 40 марок легированных чугунов: жаростойкие, которые обладают окалиностойкостью, росто- и трещиноустойчивостью, жаропрочные и коррозионно-стойкие (одновременно и износостойкие) чугуны.

Жаростойкость серых чугунов и ВЧШГ может быть повышена легированием кремнием (ЧС5□ЧС17) и хромом (ЧХ1□ЧХ32)□. Эти чугуны характеризуются жаростойкостью (окалиностойкостью) до 800 °С на воздухе, в топочных и генераторных газах. Высокой термостойкостью и сопротивляемостью окалинообразованию обладают аустенитные чугуны: высоколегированный никелевый серый ЧН15Д7 и с шаровидным графитом ЧН15Д3Ш. В качестве жаропрочных чугунов используют аустенитные чугуны с шаровидным графитом ЧН19Х3Ш и ЧН11Г7Ш. В зависимости от содержания каждый

элемент в отдельности или в сочетании с другими придает чугуну одновременно несколько специальных свойств.

Наиболее распространённым видом термической обработки является отжиг или низкотемпературный отпуск для снятия остаточных напряжений, которые возникают у большей части отливок из высоколегированных чугунов, имеющих высокие модуль упругости, линейную усадку, твёрдость и низкую теплопроводность. Ч — чугун, С - кремний, Х — хром, Н — никель, Д - медь. Цифры после букв указывают содержание легирующего элемента в процентах.

В качестве коррозионно-стойких применяют чугуны, легированные кремнием (ферросилиды ЧС13, ЧС15, ЧС17) и хромом (ЧХ22, ЧХ28, ЧХ32). Они обладают высокой коррозионной стойкостью в серной, азотной и ряде органических кислот.

Для повышения коррозионной стойкости кремнистых чугунов их легируют молибденом: 4С15М4, 4С17М3 (антихлоры). Высокой коррозионной стойкостью в щелочах обладают никелевые чугуны, например аустенитный чугун 4Н15Д7.

Аустенитные чугуны применяют также в качестве парамагнитных. Немагнитные чугуны используют в тех случаях, когда требуется минимальная потеря мощности (крышки масляных выключателей, концевые коробки трансформаторов и т.д.) или когда нужно избежать искажений магнитного поля (стойки для магнитов).

Микроструктуры различных чугунов и схемы их зарисовки.

Структура белого за эвтектического чугуна состоит из цементита первичного (крупные светлые пластины) и ледебурита . Присутствие в белых чугунах цементита обусловливает его высокую твердость и хрупкость.

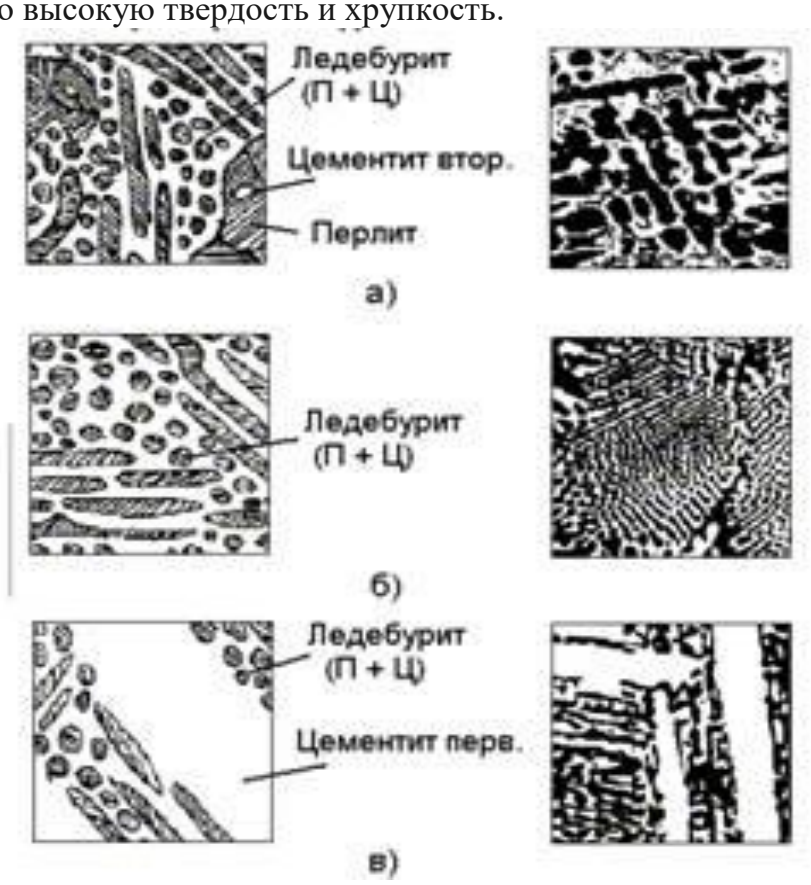


Рис.2 Микроструктура белых чугунов (слева схематическое изображение):
а) доэвтектический б) эвтектический в) заэвтектический

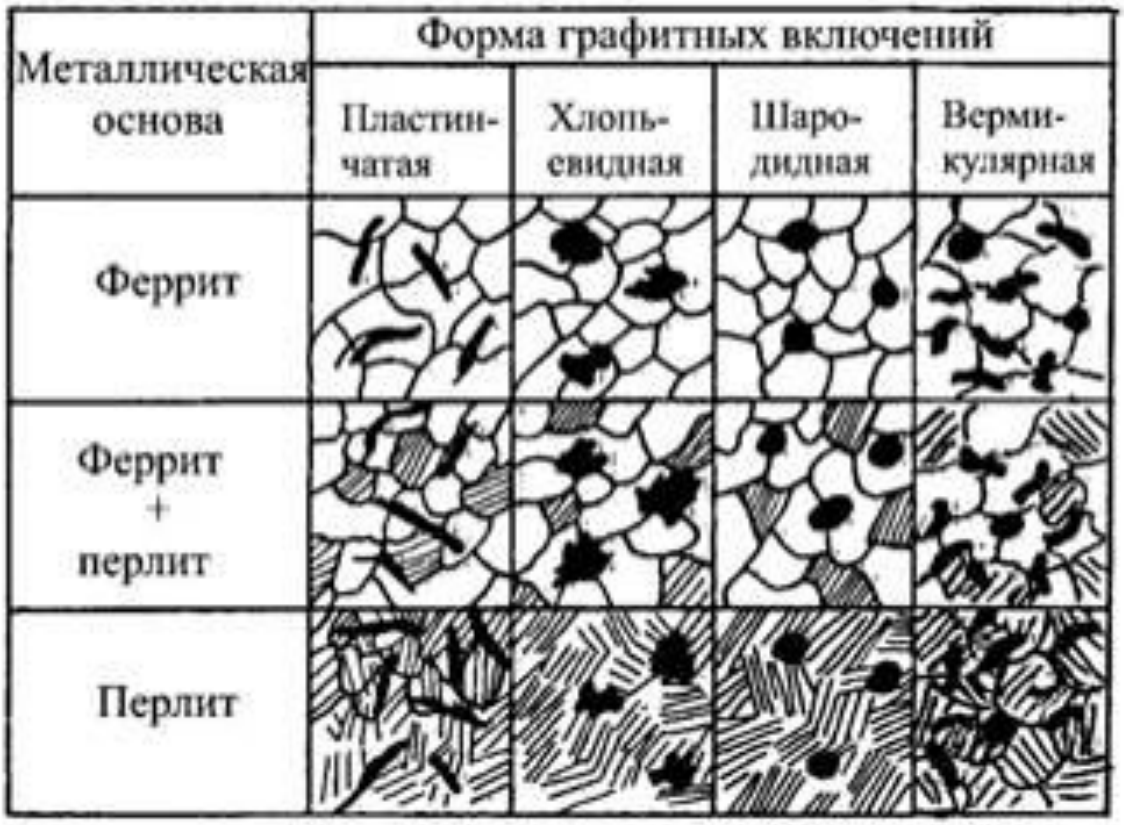


Рис.3 Микроструктура графитовых чугунов

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

- Цель работы.
- Основные положения по теме работы.
- Расшифровку марок чугунов.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Виды чугунов.
2. Особенности структурных превращений при кристаллизации и последующем охлаждении до комнатной температуры белых чугунов.
3. Строение и свойства белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов.
4. Сущность и назначение модифицирования чугунов.
5. Каковы необходимые условия для графитизации?
6. Как получается ковкий чугун?
7. Классификация и область применения чугунов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4
Тема занятия «По стандартам и справочникам описать марки сталей, их химический состав, свойства и применение. Изучение микроструктуры и свойств конструкционных легированных, инструментальных и углеродистых сталей».

Цель занятия: Приобрести навыки работы со справочной литературой в процессе расшифровки марок сталей, описание их химического состава, свойств и применения. Изучить микроструктуры различных углеродистых сталей. Научиться определять их вид и устанавливать связь между составом, структурой и свойствами сталей.

Порядок выполнения работы.

4. Изучить теоретическую часть работы.
5. По стандартам и справочникам описать марки сталей, их химический состав, свойства и применение.
6. Сделать вывод по работе

Задание:

1. По стандартам и справочникам описать марки сталей, их химический состав, свойства и применение. Марки стали: 10, 30, 50, 45, 60, 65, 20, 35, 15, У8, У10, У12, 20Х, 40Х, 40ХН, 38ХС, 18ХГТ, 38Х2МЮА, 65Г, 20ХН, 30ХГТ, 40ХС, 9ХФ, ХВГ, 6ХВГ, Х12, 5ХНМ, 3Х3М3Ф, 4Х3ВМФ, 5ХНВ.

Теоретическая часть

Легированные конструкционные стали Для улучшения физических, химических, прочностных и технологических свойств стали легируют, вводя в их состав различные легирующие элементы (хром, марганец, никель и др.). Стали могут содержать один или несколько легирующих элементов, которые придают им специальные свойства. Влияние легирующих элементов Легирующие элементы вводят в сталь для повышения ее конструкционной прочности.

Основной структурной составляющей в конструкционной стали является феррит, занимающий в структуре не менее 90% по объему. Растворяясь в феррите, легирующие элементы упрочняют его. Твердость феррита (в состоянии после нормализации) наиболее сильно повышают кремний, марганец и никель—элементы с решеткой, отличающейся от решетки α-Fe. Молибден, вольфрам и хром влияют слабее.

Большинство легирующих элементов, упрочняя феррит и мало влияя на пластичность, снижают его ударную вязкость (за исключением никеля). При содержании до 1% марганец и хром повышают ударную вязкость. Свыше этого содержания ударная вязкость снижается, достигая уровня нелегированного феррита при 3% Сг и 1,5% Мп. 50.

Увеличение содержания углерода в стали усиливает влияние карбидной фазы, дисперсность которой зависит от термической обработки и состава сплава. В значительной степени повышению конструктивной прочности при легировании стали способствует увеличение прокаливаемости.

Наилучший результат по улучшению прокаливаемости стали достигают при ее легировании несколькими элементами, например Cr + Mo, Cr + Ni, Cr + Ni + Mo и другими сочетаниями различных элементов.

Высокая конструктивная прочность стали обеспечивается рациональным содержанием в ней легирующих элементов. Избыточное легирование (за исключением никеля) после достижения необходимой прокаливаемости приводит к снижению вязкости и облегчает хрупкое разрушение стали.

Хром оказывает благоприятное влияние на механические свойства конструкционной стали. Его вводят в сталь в количестве до 2%; он растворяется в феррите и цементите

. Никель — наиболее ценный легирующий элемент. Его вводят в сталь в количестве от 1 до 5%.

Марганец вводят в сталь до 1,5%. Он распределяется между ферритом и цементитом. Марганец заметно повышает предел текучести стали, но делает сталь чувствительной к перегреву. В связи с этим для измельчения зерна одновременно с марганцем в сталь вводят карбидообразующие элементы.

Кремний является не карбидообразующим элементом, и его количество в стали ограничивают до 2%. Он значительно повышает предел текучести стали и при содержании более 1% снижает вязкость и повышает порог хладноломкости.

Молибден и вольфрам являются карбидообразующими элементами, которые большей частью растворяются в цементите. Молибден в количестве 0,2—0,4% и вольфрам в количестве 0,8—1,2% в комплексно-легированных сталях способствуют измельчен и ю зерна, увеличивают прокаливаемость и улучшают некоторые другие свойства стали.

Ванадий и титан — сильные карбидообразующие элементы, которые вводят в небольшом количестве (до 0,3% V и 0,1% Ti) в стали, содержащие хром, марганец, никель, для измельчения зерна. Повышенное содержание ванадия, молибдена и вольфрама в конструкционных сталях недопустимо из-за образования специальных трудно растворимых при нагреве карбидов. Избыточные карбиды, располагаясь по границам зерен, способствуют хрупкому разрушению и снижают прокаливаемость стали.

Бор вводят для увеличения прокаливаемости в очень небольших количествах (0,002-0,005%).

Маркировка легированных сталей.

Марка легированной качественной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Легирующие элементы имеют следующие обозначения: хром (Х), никель (Н), марганец (Г), кремний (С), молибден (М), вольфрам (В), титан (Т), алюминий(Ю), ванадий (Ф), медь (Д), бор (Р), кобальт (К), ниобий (Б), цирконий (Ц). Цифра, стоящая после буквы, указывает на содержание легирующего элемента в процентах. Если цифра не указана, то легирующего элемента содержится до 1,5%.

В конструкционных качественных легированных сталях две первые цифры марки показывают содержимое углерода в сотых долях процента.

Кроме того, высококачественные легированные стали имеют в конце букву А, а особо высококачественные — Ш. Например, сталь марки 30ХГСН2А:

высококачественная легированная сталь содержит 0,30% углерода, до 1% хрома, марганца, кремния и никеля до 2%; сталь марки 95Х18Ш: особо высококачественная, выплавленная методом электрошлакового переплава с вакуумированием, содержит 0,9— 1,0% углерода; 17— 19% хрома, 0,030% фосфора и 0,015% серы.

Легированные конструкционные стали делят на цементуемые, улучшаемые и высокопрочные.

Цементуемые легированные стали.

Цементуемые стали - это низкоуглеродистые (до 0,25С), низко-(до 2,5%) и среднелегированные (2,5— 10% суммарное содержание легирующих элементов) стали. Эти стали предназначены для деталей машин и приборов, работающих в условиях трения и испытывающих ударные и переменные нагрузки. Работоспособность таких деталей зависит от свойств сердцевины и поверхностного слоя металла.

Цементуемые стали насыщают с поверхности углеродом и подвергают термической обработке (закалке и отпуску). Такая обработка обеспечивает высокую поверхностную твердость (HRC 58—63) и сохраняет требуемую вязкость и заданную прочность сердцевины металла.

Улучшаемые легированные стали. Это средне углеродистые (0,25—0,6 %С) и низколегированные стали. Для обеспечения необходимых свойств (прочности, пластичности, вязкости) эти стали термически улучшают, подвергая закалке и высокому отпуску (500—600°С).

Легированные инструментальные стали.

Легирующие элементы, вводимые в инструментальные стали, увеличивают теплостойкость (вольфрам, | молибден, кобальт, хром), закаливаемость (марганец), вязкость (никель), износостойкость (вольфрам).

В сравнении с углеродистыми легированные инструментальные стали имеют следующие преимущества: хорошую прокаливаемость, большую пластичность в отожженном состоянии, значительную прочность в закаленном состоянии, более высокие режущие свойства.

Низколегированные инструментальные стали содержат до 2,5% легирующих элементов,имеют высокую твердость (HRC 62—69), значительную износостойкость, но малую теплостойкость (200—260°С). В отличие от углеродистых сталей их используют для изготовления инструмента более сложной формы. В низколегированных сталях Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ основной легирующий элемент — хром. Сталь Х легирована только хромом. Повышенное содержание хрома значительно увеличивает ее прокаливаемость. Сталь Х прокаливается в масле полностью в сечении до 25 мм, а сталь У 10 — только в сечении до 5 мм. Применяют сталь Х для изготовления токарных, строгальных и долбежных резцов. Сталь 9ХС, кроме хрома, легирована кремнием. По сравнению со сталью Х она имеет большую прокаливаемость—до 35 мм; повышенную теплостойкость — до 250—260°С (сталь Х до 200—2500 С) и лучшие режущие свойства. Из стали 9ХС изготовляют сверла, развертки, фрезы, метчики, плашки.

Сталь ХВГ легирована хромом, вольфрамом и марганцем; имеет прокаливаемость на глубину до 45 мм. Сталь ХВГ используют для производства крупных и длинных протяжек, длинных метчиков, длинных разверток. Сталь ХВСГ — сложнолегированная сталь и по сравнению со сталями 9ХС и ХВГ лучше закаливается и прокаливается. При

охлаждении в масле она прокаливается полностью в сечении до 80 мм. Она меньше чувствительна к перегреву. Теплостойкость ее такая же, как у стали 9ХС.

Сталь ХВСГ применяют для изготовления круглых плашек, разверток, крупных протяжек и другого режущего инструмента. Высоколегированные инструментальные стали содержат вольфрам, хром и ванадий в большом количестве (до 18% основного легирующего элемента); имеют высокую теплостойкость (600—640°С). Их используют для изготовления высокопроизводительного режущего инструмента, предназначенного для обработки высокопрочных сталей и других труднообрабатываемых материалов. Такие стали называют инструментальными быстрорежущими.

Быстрорежущие стали обозначают буквой Р, цифра после которой указывает содержание вольфрама. Содержание хрома (4%) и ванадия (2%) в марках быстрорежущих сталей не указывают. В некоторые быстрорежущие стали дополнительно вводят молибден, кобальт и большое количество ванадия. Марки таких сталей содержат буквы М, К,Ф и цифры, указывающие их количество. Наиболее распространены Р18, Р9, Р10К5Ф5 и другие быстрорежущие стали.

Для изготовления измерительных инструментов применяют Х, ХВГ стали. Для измерительного инструмента (особенно высоких классов точности) большое значение имеет постепенное изменение размеров закаленного инструмента, перераспределением внутренних напряжений.

Штампы холодного деформирования небольших размеров (сечением 25- 30 мм), простой формы, работающие в легких условиях, изготовляют из углеродистых сталей У 10, У11, У 12. Штампы сечением 75—100мм более сложной формы и для более тяжелых условий работы изготовляют из сталей повышенной прокаливаемости Х, ХВГ.

Для изготовления инструмента с высокой твердостью и повышенной износостойкостью, а также с малой деформируемостью при закалке используют 54 стали с высокой прокаливаем остью и износостойкостью, например высокохромистую сталь Х12Ф1 (11—12% Сг; 0,7—0,9% V).

Для инструмента, подвергающегося в работе большим ударным нагрузкам (пневматические зубила, режущие ножи для ножниц холодной резки металла), применяют стали с меньшим содержанием углерода, повышенной вязкости 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С и др.

Молотовые штампы горячего деформирования изготовляют из сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ. Эти стали содержат одинаковое количество (0,5—0,6%) углерода и легированы хромом. Такое содержание углерода позволяет получить достаточно высокую ударную вязкость; хром повышает прочность и увеличивает прокаливаемость сталей. Никель вводят в эти стали с целью повышения вязкости и улучшения прокаливаемости. Вольфрам и молибден повышают твердость и теплостойкость, уменьшают хрупкость, измельчают зерно и уменьшают склонность стал и к перегреву. Марганец как более дешевый легирующий элемент является заменителем никеля. Для сталей молотовых штампов характерна глубокая прокаливаемость.

Например, стали 5ХНМ и 5ХГМ прокаливаются в сечениях до 200—300мм. **Специальные конструкционные стали**

Легирующие элементы, присутствующие в стали, оказывают различное влияние на аллотропию железа, карбида образование, положение критических точек, распад аустенита и на мартенситное превращение.

Легирующие элементы оказывают влияние на положение критических точек Ас1 и Асз, на превращение аустенита при охлаждении и на положение мартенситной точки, позволяют даже в условиях медленного охлаждения получать различные структуры от феррита до аустенита. Поэтому легированные стали в отожженном и в нормализованном состояниях подразделяются на классы по структурному признаку.

К перлитному классу относятся, стали, содержащие небольшое количество легирующих элементов и обладающие структурой эвтектоидного типа: перлит, сорбит или троостит, наряду с которыми могут присутствовать и феррит или вторичные карбиды. К этой группе относятся, стали 40Х, 40ХН, 40Х7Т, 30ХГСА, Х, 9ХС и др.

К мартенситному классу относятся стали с более высоким содержанием 55 легирующих элементов, обладающие мартенситной структурой. Из сталей этого класса в машиностроении применяются хромоникелевые и хромоникелевольфрамовые конструкционные стали с содержанием до 0,3...0,4 % углерода, например сталь 18Х2Н4ВА и 25ХН4ВА.

Стали других составов отличаются высокой хрупкостью и поэтому не применяются. К аустенитному классу относятся стали с высоким содержанием таких легирующих элементов, как Ni, Mn, Cr, Ti. В структуре стали находится аустенит и небольшое количество карбидов. Стали этого класса жаропрочные и коррозионостойкие. После закалки при температуре 1000 - 1100°С карбиды, находящиеся в стали, переводятся в твердый раствор, в результате чего улучшается коррозионная стойкость и повышается пластичность. К этой группе, например, относятся стали Х18Н9, Х18Н9Т.

Специальные стали - это высоколегированные (свыше 10%) стали, обладающие особыми свойствами - коррозионной стойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью, износостойкостью и др.

Коррозионностойкие стали. Коррозионностойкой или нержавеющей называют сталь, обладающую высокой химической стойкостью в агрессивных средах. Коррозионостойкие стали получают легированием низко- и среднеуглеродистых сталей хромом, никелем, титаном, алюминием, марганцем.

Антикоррозионные свойства сталям придают введением в них большого количества хрома или хрома и никеля. Наибольшее распространение получили хромистые и хромоникелевые стали. Хромистые стали более дешевые, однако хромоникелевые обладают большей коррозионной стойкостью. Содержание хрома в нержавеющей стали должно быть не менее 12%. При меньшем количестве хрома сталь не способна сопротивляться коррозии, так как ее электрохимический потенциал становится отрицательным. Более коррозионно-стойкая (в кислотных средах) сталь 12Х17.

Для изготовления сварных конструкций эта сталь не рекомендуется в связи с тем, что при нагреве ее выше 900-950°С и быстром охлажден и (при сварке) происходит обеднение периферийной зоны зерен хромом (ниже 12%). Это объясняется выделением карбидов хрома по границам зерен, что приводит к межкристаллитной коррозии.

Износостойкие стали. Для изготовления деталей машин, работающих в условиях трения, применяют специальные износостойкие стали— шарикоподшипниковые, графитизированные и высокомарганцовистые. Шарикоподшипниковые стали (ШХ6, ШХ9, ШХ15) применяют для изготовления шариков и роликов подшипников. По

химическому составу и структуре эти стали относятся к классу инструментальных сталей. Они содержат около 1% С и 0,6—1,5% Сг. Для деталей размером до 10 мм применяют сталь ШХ6 (1,05—1,15% С и 0,4—0,7% Сг), а для деталей размером более 18 мм - сталь ШХ15 (0,95-1,05% С и 1,3-1,65% Сг). Термическая обработка шарикоподшипниковых сталей с небольшим содержанием хрома заключается в закалке и низком отпуске (до 200°С), в результате чего обеспечивается твердость HRC 60—66.

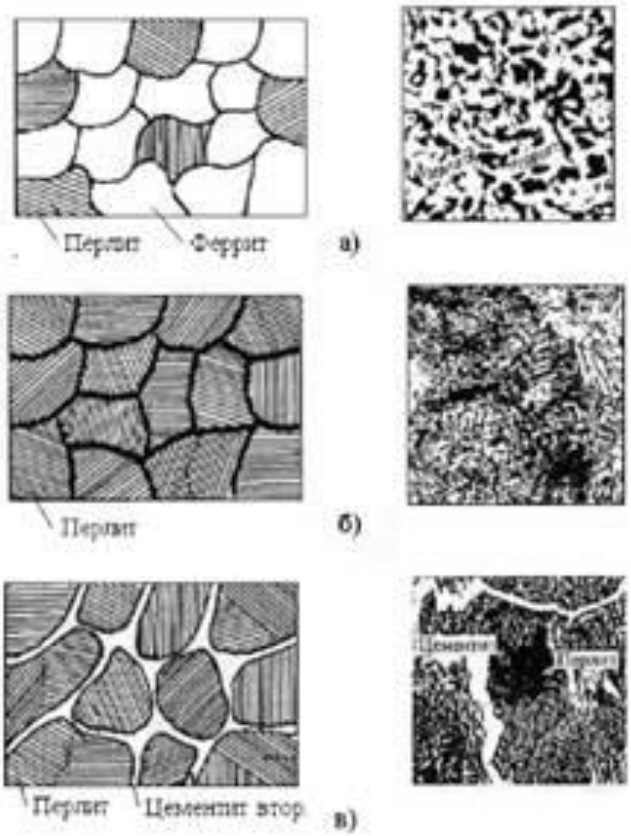


Рис.1 Микроструктура углеродистых сталей: а) доэвтектоидной; б) эвтектоидной; в) эаэвтектоидной (слева – схематическое изображение).

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

- Цель работы.
- Основные положения по теме работы.
- Расшифровку марок сталей.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие структурные составляющие имеют доэвтектоидиая, эвтектоидная и заэвтектрокдная стали?
2. Какую твердость (НВ) имеют феррит, перлит и цементит ?
3. Как влияет содержание углерода в стали на ее механические свойства и твердость?
4. Как классифицируют углеродистые стали в зависимости от содержания углерода в них?

5. Как влияет содержание углерода в стали на относительные количества в ней феррита, перлита и цементита вторичного?
6.Как влияет цементит вторичный в виде замкнутой сетки на временное сопротивление разрыву и вязкость стали?

При выполнении практической работы рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники и справочные данные, приведенные в конце данного методического указания в Приложении.

Приложение.

ОСТ Р 54384-2011 - Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества

- ГОСТ 380-94 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
- ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки (Новый)
- ГОСТ 1050-88 Сталь углеродистая качественная конструкционная (со спец. отделкой)
- ГОСТ 19281-89 Сталь повышенной прочности (классов прочности 265, 295, 315, 325, 345, 355, 375, 390, 440)
- ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности (введен с 2015 г.)
- ГОСТ 4543-71 Сталь легированная конструкционная, (термически обр. со спец. отделкой) калиброванная.
- ГОСТ Р 54908-2012 - Металлопродукция из жаростойкой стали. Технические условия
- ГОСТ 14959-79 Сталь ресорно-пружинная углеродистая и легированная
- ГОСТ 5632-72 Сталь высоколегированные и стали короззионностойкие, жаропрочные и жаростойкие
- ГОСТ 1435-99 Сталь углеродистая инструментальная
- ГОСТ 5950-2000 (ГОСТ 5950-73) Сталь легированная инструментальная
- ГОСТ 1414-75 Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием
- ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая
- ГОСТ 20072-74 Сталь теплоустойчивая
- ГОСТ Р 52927-2008 Прокат для судостроения из стали нормальной, повышенной и высокой прочности. Технические условия
- ГОСТ Р 55374-2012 Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия
- ГОСТ 6713-91 Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия
- ГОСТ 5521-93 Прокат стальной для судостроения. Технические условия
- ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки
- ГОСТ 23118-2012 Конструкции стальные строительные

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5
Тема занятия: «Изучение структуры и свойства стали после термической и химико-термической обработки по кодограммам».

Цель работы: изучить влияние различных видов термической и химико-термической обработки на микроструктуру и свойства сталей.

Порядок выполнения работы.
1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Провести анализ видов термической обработки сталей.
3. Работа с диаграммой «железо – углерод»
4. Решить задачу.
5. Сделать вывод по работе

Задание: На диаграмму состояния «Железо –углерод» нанести интервалы температур термической обработки сталей.

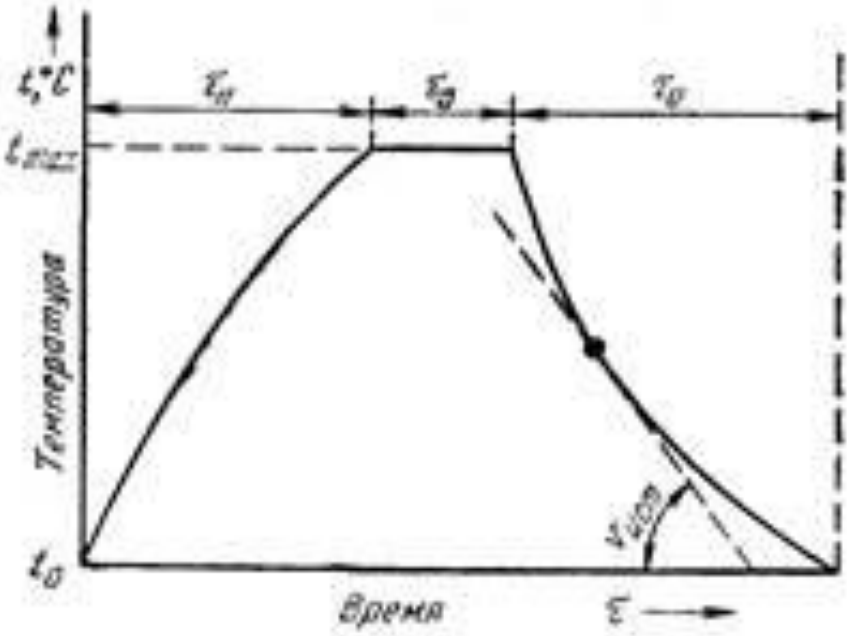
Теоретическая часть.

Термическую обработку стали на промышленных предприятиях производят рабочие – термисты, которые хорошо знают внутреннее строение металлов, их физические и технологические свойства, режимы термообработки.

Для ТО сталей применяют специальное оборудование, состоящее из нагревательных устройств, охлаждающих приспособлений, приборов для контроля теплового режима и результатов ТО.

Термообработка это нагрев стали до определенной температуры, выдержка и охлаждение с целью изменения внутренней структуры металла или сплава, а соответственно и свойств. При этом химический состав не изменяется.

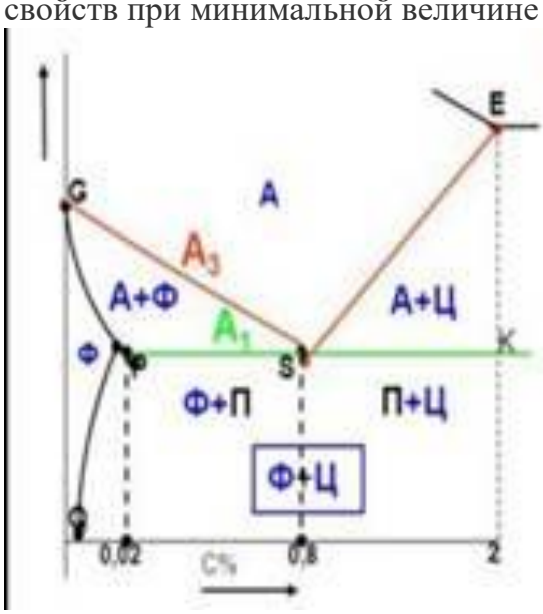
Графически ТО можно представить в координатах «температура – время».



1.Нагрев стали составляет от 40-80% от всей операции ТО. При этом в Ме происходят различные явления: тепловое расширение, фазовые и структурные превращения, изменение свойств и т.д.

2. Выдержка необходима для завершения процессов фазовых и структурных превращений по всему объему изделий ($t_{выд}$=1/4- 1/5 от времени нагрева).
3. Охлаждение – завершающая операция ТО и предназначена для отведения теплоты от Ме.

Результат ТО зависит от скорости охлаждения, которая должна быть такой, чтобы обеспечить получение заданной структуры и необходимых механических свойств при минимальной величине внутренних напряжений.



Основа изучения термообработки стали – диаграмма железо – углерод.

Общепринятые обозначения критических точек (А):

- A_1 – линия PSK – соответствует превращению А ↔ П;
- A_3 – линия GSE – соответствует началу выпадения или концу растворения Ф (в доэвтектоидных сталях) или Ц (в заэвтектоидных сталях);
- Ac_1 и Ac_3 – обозначение критических точек при нагреве;
- Ar_1 и Ar_3 – обозначение критических точек при охлаждении.

Основное назначение ТО – это придание сталям	
В готовых изделиях	В заготовках
1.Прочности 2.Износостойкости 3.Коррозионностойкость 4.Термостойкости	1.Снятие внутренних напряжений после литья, штамповки, глубокой вытяжки) 2.Увеличение пластичности 3.Облегчения обработки резанием

Основопологающими параметрами влияющие на качество термообработки являются:
1.время нагревания (скорость)
2.температура нагревания
3.длительность выдерживания при данной температуре
4.время охлаждения (интенсивность)
5.изменяя данные режимы можно получить несколько видов термообработки

Основными видами термической обработки стали являются отжиг, закалка и отпуск.

Виды термообработки:				
ОТЖИГ	НОРМАЛИ-ЗАЦИЯ	ЗАКАЛКА	ОТПУСК	ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
Это нагрев стали выше температур фазовых превращений с	Это нагрев стали выше температур фазовых	Это нагрев стали выше температур фазовых	Это нагрев стали выше температур фазовых	Это процесс насыщения поверхностного слоя стали

последующим медленным охлаждением (обычно вместе с печью)	превращений с последующим охлаждением на воздухе.	превращений с последующим быстрым охлаждением со скоростью выше критической	превращений с последующим охлаждением с заданной скоростью	различными элементами путем их диффузии из внешней среды при высокой температуре

1 рода	2 рода	Полная закалка(нагрев в однофазную аустенитную область (GSE) на 30-50^0.	Низко температурный (80-200^{0}С)	Цемен насыш поверх слоя «
Диффузионный (гомогенизация) (1000-1100^{0}С)	Полный (нагрев на 30-50^{0}С) выше линии GS.			
				Азотировани насыщение поверхностно
Рекристаллизационный(650-700^{0}С)	Неполный (нагрев на 30-50^{0}С) выше линии PSK.	Неполная закалка(нагрев в двухфазной области(выше линии PSK, но ниже GSE.	Средне температурный(350-500^{0}С)	Циани насыш поверх слоя « однов
Отжиг для снятия внутренних напряжений (350-600^{0}С)	изотермический(нагрев на 30-50^{0}С) выше линии GS с последующим охлаждением до 600-700^0		Высоко температурный(500-650^{0}С)	Метал насыш поверх слоя Ме«С

Цвета каления при закалке заготовок:

Цвета каления	Температура, ^{0}С	Цвета каления	Температура, ^{0}С
Темно-коричневый	530-580	Красный	830-900
Коричнево-красный	580-560	Светло-красный	900-1050
Темно-вишневый	650-720	Желтый	1050-1150
Вишневый	720-780	Светло-желтый	1150-1250
Светло-вишневый	780-830	Белый	1250-1300

СПОСОБЫ ЗАКАЛКИ

- **Закалка в одном охладителе** — нагретую до определённых температур деталь погружают в закалочную жидкость, где она остаётся до полного охлаждения.

Этот способ применяется при закалке несложных деталей из углеродистых и легированных сталей.

Недостаток – возникновение значительных внутренних напряжений.

Закалочная среда – вода для углеродистых сталей сечением более 5 мм, масло – деталей меньших размеров и легированных сталей.

- **Прерывистая закалка в двух средах**—этот способ применяют при закалке высокоуглеродистых сталей. Деталь сначала быстро охлаждают в быстро охлаждающей среде (например воде), а затем в медленно охлаждающей (масло).

Недостаток –трудность регулирования выдержки деталей в первой среде.

- **Струйчатая закалка** заключается в обрызгивании детали интенсивной струёй воды и обычно её применяют тогда, когда нужно закалить часть детали. При этом способе не образуется паровая рубашка, что обеспечивает более глубокую прокаливаемость, чем простая закалка в воде. Такая закалка обычно производится в индукторах на установках ТВЧ.
- **Ступенчатая закалка** — закалка, при которой деталь охлаждается в закалочной среде, имеющей температуру выше мартенситной точки для данной стали. Затем следует окончательное, обычно медленное, охлаждение, во время которого и происходит закалка, то есть превращение аустенита в мартенсит.
- **Изотермическая закалка**. Выдерживать сталь в закалочной среде столько времени, чтобы успело закончиться изотермическое превращение аустенита. Применяют для конструкционных легированных сталей.
- **Закалка с сомоотпуском,** при которой в закалочной среде охлаждают только часть изделия, а теплота , сохранившаяся в остальной части детали после извлечения из среды вызывает отпуск охлажденной части. Применяют для ударного инструмента (зубил, молотков)

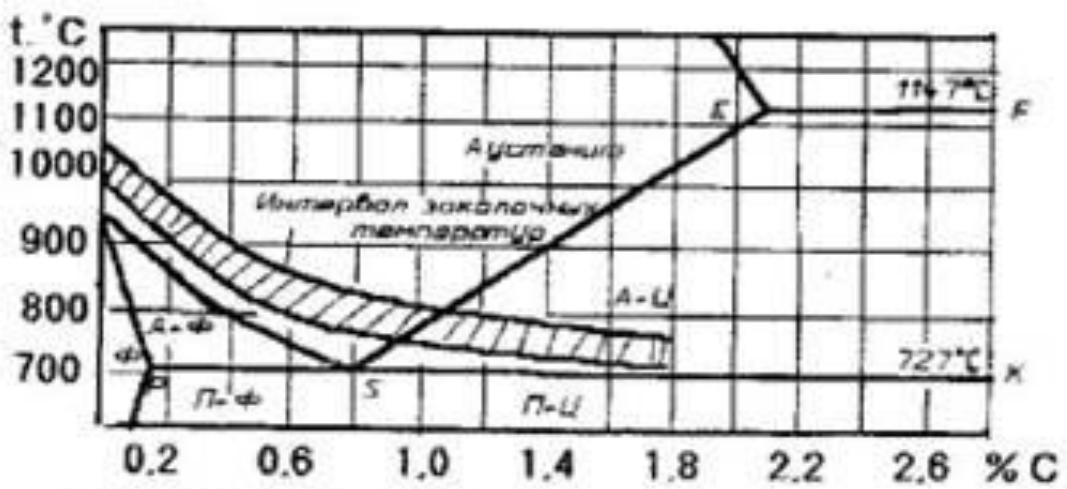


Рис.1. Интервал закалочных температур для углеродистых сталей

Различают следующие виды закалки

1. Закалка в одном охладителе
2. Прерывистая закалка (закалка в двух охладителях)
3. Ступенчатая закалка

4. Изотермическая закалка.

Превращения при охлаждении стали

Превращения в сталях при охлаждении зависят от скорости охлаждения и делятся на три группы: диффузионные, бездиффузионные и промежуточные.

К диффузионным относятся процессы образования аустенита при нагреве, перлитное превращение при охлаждении, процессы, протекающие при отпуске, старении и рекристаллизации.

К бездиффузионным относятся мартенситные превращения и процессы, протекающие при отдыхе деформированной стали.

Бейнитное превращение относится к *промежуточному*, или *смешанному* типу превращений.

https://studfile.net/preview/5615454/page:5/

Задачи по выбору сталей и режимов термической обработки в зависимости от условий работы деталей и конструкций

1 Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35 мм: сталь в готовом изделии должны иметь предел текучести не ниже 290 МПа и ударную вязкость не ниже 50 МПа. Кроме того, вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т.е. в участках, сопряженных с и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки всего вала для получения заданных свойств и режим последующей термической обработки, повышавшей твердостью только в отдельных участках поверхности вала.

Привести структуру и твердость стали в поверхностном слое шейки вала и механические свойства в остальных участках.

2 Стаканы цилиндров мощных двигателей внутреннего сгорания должны обладать высоким сопротивлением износу на поверхности. Для повышения износостойкости применяют азотирование.

Подберите сталь, пригодную для азотирования, приведите химический состав. Рекомендуйте режим термической обработки и режим азотирования.

Укажите твердость поверхностного слоя и механические свойства низлежащих слоев в готовом изделии.

3 Станкостроительный завод изготавливает шпиндели токарных станков. Шпиндели работают с большой скоростью в условиях повышенного износа: поэтому твердость в поверхностном слое должна быть HPC 58-62.

Подберите сталь для изготовления шпинделя, рекомендуйте режим термообработки, обеспечивающий получение заданной твердости в поверхностном слое.

Укажите структуру стали в поверхностных слоям и сердцевине шпинделя, механические свойства сердцевины после окончательной термической обработки.

4 Червяк редуктора диаметром 35 мм можно изготовить из цементуемой и нецементуемой стали. Предел прочности в сердцевине детали должен быть 580-686 МПа. Выберите марку цементуемой и нецементуемой углеродистой качественной стали. Обоснуйте, в каких случаях целесообразно применять цементуемую и в каких случаях – нецементуемую сталь.

Укажите химический состав, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки и сопоставьте механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

5 Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и на срез и должен обладать высокой износостойкостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине. Подберите углеродистую сталь, укажите ее состав и марку, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки, укажите структуру, механические свойства в сердцевине и твердость на поверхности после окончательной обработки. Укажите желаемую толщину твердого поверхностного слоя.

6.Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться и выкрашиваться в процессе работы; поэтому оно должно иметь твердость в пределах HRC 50…55 на глубину не более 30 – 40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость. Укажите химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий указанную твердость, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только на лезвие топора.

7 Выберите марку стали для изготовления продольных пил по дереву и укажите режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы. Режимы термической обработки выберите таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы призакалки и отпуске, а также обеспечить получение стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна “пружинить”).

8 Автосцепки вагонов на железнодорожном транспорте изготавливаются литыми. Для повышения механических свойств отливки подвергают термической обработке. Выберите марку стали и обоснуйте термическую обработку, если предел прочности должен быть не ниже 343 МПа. Укажите структуру и механические свойства стали после литья и после термической обработки.

9 Завод изготавливает зубчатые колёса диаметром 60 мм и высотой 80 мм. Предел текучести должен быть не ниже 530…540 МПа. Выберите сталь для изготовления зубчатых колёс и приведите состав и марку, учитывая технологические особенности термической обработки и необходимость предотвратить деформацию и образование трещин при закалки. Рекомендуйте режим термической обработки и укажите механические свойства в готовом состоянии.

10.Многие измерительные приборы инструменты плоской формы (шаблоны, линейки, штангенциркули) изготавливаются из листовой стали; они 46 должны обладать высокой износостойкостью в рабочих кромках. Приведите режимы обработки, обеспечивающие получение этих свойств, если инструменты изготавливаются большими партиями из сталей 15 и 20.

Пример:

Задача.

Завод имеет сталь двух марок: 15 и 20ХН3А, из которых можно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками. Как из сталей следует применить для изготовления вала, если сталь должна иметь предел текучести на ниже 740 МПа?

Решение задачи

Таблица 1. Химический состав стали,%

Сталь	ГОСТ	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Сталь 45	1050- 60	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25	0,25	0,045	0,040
20ХН3А	4543- 71	0,17-0,23	03,-0,6	0,17-0,37	0,6-0,9	2,75-3,15	0,025	0,025

Сталь 45 согласно ГОСТу в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 207. При твердости НВ 190 – 200 сталь имеет предел прочности σв, не выше 588 … 60 МПа. Предел текучести стали 45 не превышает 265 … 314 МПа.

Сталь 20ХН3Л согласно ГОСТу в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 250. Предел прочности не превышает 735 МПа и может быть ниже 588 МПа для плавок с более низкой твердостью. Предел текучести стали не превышает 343…392 МПа.

Таким образом, для получения заданной величины предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломки которого нарушают работу машины, необходимо применить сталь качественную.

Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХН3А – к классу высококачественно легированной стали. Они содержат соответственно 0,42 … 0,50 и 0,17 … 0,23% С и принимают закалку. Для повышения прочности можно принимать нормализацию или закалку с высоким отпуском.

ак как вал двигателя воспринимает в работе динамические нагрузки, а также вибрацию, более целесообразно применить закалку и отпуск.

После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемой углеродистой стали эта структура в изделиях диаметром более 20 – 25 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной 2 – 4 мм. Последующий отпуск вызовет превращение мартенсита и троостита в сорбит только в поверхностном слое, но не влияет на структуру и свойства перлита и феррита в основной массе изделия. Сорбит отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем феррит и перлит.

Небольшое напряжение от изгиба, кручения и повторно переменных нагрузок воспринимают нагруженные слои. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла.

Сталь 20ХН3А легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки однородную структуру и механические свойства в сечении диаметром до75 мм.

Таким образом свойствами, которые обеспечат требования для изготовления вала диаметром 70 мм для работы с большим нагрузками, обладает сталь 20НХ3А, которую необходимо применить для изготовления валов с соответствующей термодинамической (закалка с 820-835˚С в масле и отпуск 520 - 530˚С в масле).

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

- Цель работы.
- Основные положения по теме работы.

 Наличие области стали диаграммы «железо- углерод» с нанесенными областями всех видов термической обработки сталей»
- Решение задачи
 Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие фазовые превращения происходят при нагреве доэвтектоидных сталей до температур образования аустенита?
2.Какие структурные изменения происходят при повышении температуры отпуска закаленных сталей?
3. Что представляют собой перлит, сорбит, троостит, мартенсит?
4. Что представляют собой отпущенный мартенсит, троостит отпуска,сорбит отпуска?
5. В чем заключается химико-термическая обработка материалов?
6. Какую микроструктуру имеет поверхностный слой после цементации?
7. Какую микроструктуру имеет поверхностный слой после цементации, закалки и низкого отпуска?
8.Чем отличается сорбит отпуска от троостита отпуска?
9.Какая структура образуется при отпуске до 200 С?
10.Какая структура образуется при отпуске до 400 С?
11.Какая структура образуется при отпуске до 600 С?

▪

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6
Тема занятия: «По стандартам и справочникам описать марки алюминия и его сплавов их химический состав, свойства и применение».

Цель занятия: Приобрести навыки работы со справочной литературой в процессе расшифровки марок алюминия и его сплавов, описание их химического состава, свойств и применения.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. По стандартам и справочникам описать марки алюминиевых сплавов, их химический состав, свойства и применение.
3. Сделать вывод по работе

Задание:

По стандартам и справочникам описать марки алюминиевых сплавов, их химический состав, свойства и применение. Марки алюминия и его сплавов: АК12, АК7ч, АК5М, АЦ4Мг, АК9ч, АМг6, В95, Д1, Д16, В95, АК12М2МГН, А7, АМ5, АД31, АК6, АК4-1.

Теоретическая часть

Алюминий — металл серебристого цвета, характеризующийся низкой плотностью (2,7 г/см3), высокой пластичностью (δ = 40%), низкими прочностью ($\sigma\eta$= 80МПа) и твердостью (НВ 25). Температура плавления — 659°С. Обладает высокой электропроводностью и коррозионной стойкостью. Кристаллизуется в кубической гранецен-трированной решетке и полиморфных превращений не имеет.

Маркируется буквой А.

В зависимости от количества примесей различают алюминий особой чистоты А999 (99,999% А1), высокой чистоты А995, А99, А97 и технической чистоты А85, А8, А7, А6, А5, АО.

Применяется алюминий для производства фольги, электрических проводов.

Как конструкционный материал используется редко вследствие малой прочности.

Сплавы алюминия делятся на литейные и деформируемые.

Литейные сплавы алюминия маркируются буквами АЛ и числом, показывающим условный номер сплава.

Чтобы сплав обладал хорошими литейными свойствами, он должен иметь низкий температурный интервал кристаллизации. Кроме того, желательно, чтобы он имел низкую температуру плавления. Этим требованиям удовлетворяют эвтектические сплавы.

Наибольшее распространение получили сплавы алюминия с кремнием, образующие эвтектику при содержании 11,6% кремния. Эти сплавы называются силуминами. Широко применяется силумин эвтектического состава АЛ2, содержащий 10- 12% кремния. Он имеет очень хорошие литейные свойства, но малую прочность (σв= 180 МПа).

Уменьшение содержания кремния и добавка меди, магния и марганца ухудшает литейные свойства силуминов, но улучшает механические.

Кроме силуминов используются литейные сплавы апюминия с медью (АЛ7) и магнием (АЛ8), не содержащие кремния. Они обладают значительно большей прочностью, чем силумины, но их литейные свойства хуже. Деформируемые сплавы алюминия делятся на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. К сплавам, не упрочняемым термической обработкой относятся сплавы алюминия с марганцем (маркируется АМц) и магнием (маркируются АМг1, АМг7). Эти сплавы имеют низкую прочность, но высокую пластичность и коррозионную стойкость.

К сплавам, упрочняемым термической обработкой относятся дюралюминий, ковочные сплавы, высокопрочные сплавы алюминия.

Дюралюминий (дуралюмин) представляет собой сплав алюминия с медью (до 5%), марганцем (до 1,8%) и магнием (до 0,9%). Маркируется буквой Д и цифрой, показывающей порядковый номер (Д1, Д16 и др.). К данным сплавам относятся российские марки: Д1, Д16, Д18, В65, Д19, И17, ВАД1.Подвергается термической обработке, которая состоит из закалки от температуры 500°С и естественного старения, заключающегося в выдержке при комнатной температуре в течение нескольких суток.

В результате такой обработки прочность повышается в два раза (с 200-240 МПа до 450-500 МПа), а пластичность практически не меняется.

Достоинством дюралюминия является высокая удельная прочность (отношение предела прочности к плотности), что особенно важно в самолетостроении. Дюралюминий выпускается в виде листов и прутков.

Высокопрочные сплавы алюминия содержат кроме меди и магния дополнительно цинк (до 10%). Эти сплавы маркируются буквой В (В95, В96). Подвергаются термообработке, аналогичной термообработке дюралюминия, но естественное старение заменяется искусственным старением, заключающимся в выдержке при температуре 120-140°С в течение 16-24ч. В результате предел прочности доходит до 600-700 МПа.

Ковочные сплавы алюминия предназначены для производства деталей ковкой и штамповкой. Маркируются буквами АК и числом, показывающим порядковый номер.

По химическому составу близки к дюралюминию (сплав АК1 совпадает по составу с Д1), иногда отличаясь более высоким содержанием кремния (АК6, АК8). Подвергаются аналогичной термообработке. Малая плотность и высокая удельная прочность обусловили широкое применение алюминиевых сплавов в самолетостроении. Они составляют до 75% массы пассажирских самолетов.

Из дюралюминия изготовляются обшивки, каркасы, из высокопрочных сплавов — тяжело нагруженные детали, из ковочных — кованые и штампованные детали (например, лопасти винта).

Маркировка по ГОСТ:

А — технический алюминий;

Д — дюралюминий;

АК — алюминиевый сплав, ковкий;

АВ — авиаль;

В — высокопрочный алюминиевый сплав;

АЛ — литейный алюминиевый сплав;

АМг — алюминиево-магниевый сплав

АМц — алюминиево-марганцевый сплав

САП — спеченные алюминиевые порошки;

САС — спеченные алюминиевые сплавы;
КАС — криптонито-алюминиевый сплав.
Вслед за буквами идет номер марки сплава.
За номером марки сплава ставится буква, обозначающая состояние сплава :
М — сплав после отжига (мягкий);
Т — после закалки и естественного старения;
А — плакированный (нанесен чистый слой алюминия);
Н — нагартованный;
П — полунагартованный.
http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/3_16.htm

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:
- Цель работы.
- Основные положения по теме работы.
- Расшифровку марок алюминиевых сплавов.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой дюралюминий?
2. Какой термической обработкой упрочняют дюралюминий и какие структурные и фазовые превращения проходят при этом?
3. Какую термическую обработку проходят литые алюминиевые сплавы?
4. Что представляет собой силумин и как его упрочняют?
5. Какие требования предъявляются к антифрикционным (подшипниковым) сплавам?
6. Укажите марки, состав, структуру и применение оловянных, свинцовых и кальциевых баббитов.
7. Какие вы знаете марки алюминиевых подшипниковых сплавов?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7
Тема занятия: «По стандартам и справочникам описать марки титана и его сплавов, их химический состав, свойства и применение»

Цель занятия: Приобрести навыки работы со справочной литературой в процессе расшифровки марок титановых сплавов, описание их химического состава, свойств и применения.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. По стандартам и справочникам описать марки титановых сплавов, их химический состав, свойства и применение.
3. Сделать вывод по работе

Задание:

1. По стандартам и справочникам описать марки титановых сплавов, их химический состав, свойства и применение. Марки титановых сплавов: ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1Л, ВТ5Л, ВТ6Л, ВТЗ-1Л, ВТ9Л, ВТ14Л, ВТ5-1, ВТ18, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК25, Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т15К10, Т5К12В, ТТ7К12

Теоретическая часть

Титан–металл серебристо—белого цвета. Это один из наиболее распространенных в природе элементов. Среди других элементов по распространенности в земной коре (0,61 %) он занимает десятое место.

Титан легок (плотность его 4,5 г/см ^{3}), тугоплавок (температура плавления 1665 °С), весьма прочен и пластичен. На поверхности его образуется стойкая окисная пленка, за счет которой он хорошо сопротивляется коррозии в пресной и морской воде, а также в некоторых кислотах.

При температурах до 882 °С он имеет гексагональную плотно упакованную решетку, при более высоких температурах – объемно—центрированный куб. Механические свойства листового титана зависят от химического состава и способа термической обработки. Предел прочности его – 300—1200 МПа (30—120 КГС/мм ^{2}), относительное удлинение – 4—10 %.

Вредными примесями титана являются азот, углерод, кислород и водород. Они снижают его пластичность и свариваемость, повышают твердость и прочность, ухудшают сопротивление коррозии.

При температуре свыше 500 °С титан и его сплавы легко окисляются, поглощая водород, который вызывает охрупчи—вание (водородная хрупкость). При нагревании выше 800 °С титан энергично поглощает кислород, азот и водород, эта его способность используется в металлургии для раскисления стали. Он служит легирующим элементом для других цветных металлов и для стали.

Благодаря своим замечательным свойствам титан и его сплавы нашли широкое применение в авиа-, ракето—и судостроении. Из титана и его сплавов изготовляют полуфабрикаты: листы, трубы, прутки и проволоку.

Основными промышленными материалами для получения титана являются ильменит, рутил, перовскит и сфен (титанит). Технология получения титана сложна,

трудоемка и длительна: сначала вырабатывают титановую губку, а затем путем переплавки в вакуумных печах из нее производят ковкий титан.

Губчатый титан, получаемый магнийтермическим способом, служит исходным материалом для производства титановых сплавов и других целей.

В зависимости от химического состава и механических свойств стандартом установлены следующие марки губчатого титана: ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110, ТГ–120, ТГ–130.

В обозначении марок буквы «ТГ» означают – титан губчатый, «Тв» – твердый, цифры означают твердость по Бринеллю. В губчатый титан входят примеси: железо – до 0,2 %, кремний – до 0,04 %, никель – до 0,05 %, углерод – до 0,05 %, хлор – до 0,12 %, азот – до 0,04 %, кислород – до 0,1 %.

Для изготовления различных полуфабрикатов (листы, трубы, прутки, проволока) предназначены титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением.

В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие их марки: ВТ1–00, ВТ1–0, ОТ4–0, ОТ4–1, ОТ4, ВТ5, ВТ5–1, ВТ6, ВТ20, ВТ22, ПТ–7М, ПТ–7В, ПТ–1 м. Основные компоненты: алюминий – 0,2–0,7 %, марганец – 0,2–2 %, молибден – 0,5–5,5 %, ванадий – 0,8–5,5 %, цирконий – 0,8–3 %, хром – 0,5–2,3 %, олово – 2–3 %, кремний – 0,15—0,40 %, железо – 0,2–1,5 %. Железо, кремний и цирконий в зависимости от марки сплава могут быть основными компонентами или примесями.

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

- Цель работы.
- Основные положения по теме работы.
- Расшифровку марок титановых сплавов.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1.Какова классификация титановых сплавов по структуре? Что такое псевдо-α-сплавы?

2. Как влияют примеси и легирующие элементы на свойства титановых сплавов?

3. Как влияют легирующие элементы на полиморфизм титана?

4. Сплавы с какой структурой имеют наилучшее сочетание свойств?

5. Каким видам термической обработки подвергают сплавы на основе титана?

6. Почему не проводят упрочняющую термическую обработку для крупных деталей, изготовленных из сплавов на основе титана?

7. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе титана?