

**ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ГОРОДА МОСКВЫ
«ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ № 50 ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА Н. А. ЗЛОБИНА»
(ГБПОУ ПК №50 ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА Н. А. ЗЛОБИНА)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.03 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Профессия: 23.01.03 Автомеханик

:

**Москва
2018**

ОДОБРЕНА

Цикловой комиссией
Техника и технологии наземного
транспорта

Разработана на основе Федерального
государственного образовательного
стандарта по профессии среднего
профессионального образования
23.01.03 Автомеханик

Протокол № 17
от «17» сент. 2017 г.

Председатель
цикловой комиссии


Редикульцева И.Г.

Составитель: Крутько Елена Анатольевна – преподаватель специальных
дисциплин первой квалификационной категории ГБПОУ ПК № 50 имени
дважды Героя Социалистического Труда Н.А.Злобина

Пояснительная записка

Согласно п.28 Приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 14.06.2013 г. № 464 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования» практическое занятие является одним из видов учебной деятельности обучающихся.

Выполнение обучающимися практических занятий направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин и профессиональных модулей;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, конструктивных и др;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных (решать задачи по математике, физике, химии, информатике и др.)

Содержанием практических занятий являются решение разного рода задач, выполнение вычислений, расчетов, чертежей, инструктивными материалами, справочниками и т.д.

Состав и содержание практических занятий должны быть направлены на формирование общих и профессиональных компетенций.

Выполнению практических занятий предшествует проверка знаний обучающихся – их теоретической готовности к выполнению задания.

Практические занятия могут носить репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при проведении обучающиеся пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Формы организации обучающихся на практических занятиях: групповая, индивидуальная.

Для повышения эффективности проведения практических занятий **рекомендуется:**

- разработка заданий и упражнений, сопровождающихся методическими указаниями, применительно к конкретным профессиям и специальностям;

- подбор дополнительных задач и заданий для обучающихся, работающих в более быстром темпе.

Структура оформления практических занятий по дисциплине, определяется цикловыми комиссиями.

Оценки за выполнение практических занятий выставляются по **пятибалльной системе** и учитываются как показатели текущей успеваемости обучающихся.

Продолжительность практического занятия не менее 2 академических часов.

Содержание

№ п/п	Наименование	Кол-во часов
1.	Практическое занятие № 1: Изучение микроструктуры металлов и сплавов	2
2.	Практическое занятие № 2: Методы измерения твердости металлов и сплавов	2
3.	Практическое занятие № 3: Анализ диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов	2
4.	Практическое занятие № 4: Изучение микроструктуры чугунов	2
5.	Практическое занятие № 5: Изучение строения углеродистых сталей и чугунов в равновесном состоянии	2
6.	Практическое занятие № 6: Обоснование выбора марок сталей, применяемых для инструментов	2
7.	Практическое занятие № 7: Построение и анализ графика термической обработки.	2
8.	Практическое занятие № 8: Построение графика химико-термической обработки и последующей обработки детали	2
9.	Практическое занятие № 9: Сравнение эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов Д16 и В95	2
10.	Практическое занятие № 10: Изучение микроструктуры сплавов цветных металлов	2
	ИТОГО	20

Инструкция по практическому занятию № 1

Тема: Изучение микроструктуры металлов и сплавов

Цель занятия: изучить методы исследования строения металлов.

Этапы занятия:

1. Изучить методы металлографического анализа.
2. Дать описание экспериментальной части микроанализа.
3. Провести анализ микроструктуры образцов
4. Изобразить схему макроструктуры стального слитка.
5. Оформить отчет

Теоретическая часть

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

Осуществляется после предварительной подготовки исследуемой поверхности (шлифование и травление специальными реактивами).

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катанных заготовок, а также причины разрушения деталей.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; волокна в деформированном металле.

Микроструктурный анализ – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Образцы – микрошлифы с блестящей полированной поверхностью, так как структура рассматривается в отраженном свете. Наблюдаются микротрещины и неметаллические включения.

Для выявления микроструктуры поверхность травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по-разному. Можно выявить форму, размеры и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие.

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью.

Изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Электронные лучи с длиной волны $(0,04...0,12) \cdot 10^{-8}$ см дают возможность различать детали объекта, по своим размерам соответствующие межатомным расстояниям.

Просвечивающие микроскопы. Поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового

рассеяния электронов на объекте. Различают *косвенные* и *прямые* методы исследования.

При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину.

При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла.

Растровые микроскопы. Изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

Для изучения атомно-кристаллического строения твердых тел (тонкое строение) используются *рентгенографические методы*, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций.

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры специально подготовленных образцов (микрошлифов) при увеличениях от 30–50 до 1500–1800 крат.

Микроанализ проводят с целью определения:

1. Количества, размеров и типа структурных составляющих;
2. Фазового состава сталей и сплавов;
3. Связи химического состава, условий производства и обработки сплава с его микроструктурой и свойствами.

Для проведения высококвалифицированного микроанализа необходимы знания не только в области металлографии, но и в методике приготовления микрошлифов, в устройстве микроскопов и методах микроскопического анализа.

Приготовление микрошлифа обычно включает следующие основные операции.

1. Вырезку образцов и подготовку поверхности.
2. Шлифование.
3. Полирование.
4. Травление.

Выбор числа образцов, места вырезки и сечения материала, по которому проходит плоскость микрошлифа, определяется целью металлографического исследования, размерами, формой и особенностями структуры изучаемого объекта.

Наиболее удобны простые формы образцов следующих размеров: цилиндр или параллелепипед с диаметром или стороной основания 10–20 мм и высотой 10–15 мм. Образцы малых размеров (лента, проволока) или сложной конфигурации после вырезки для изготовления шлифов помещают в

пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Наиболее часто для холодной заделки шлифов используют эпоксидные смолы. Они обладают достаточной твердостью, малой объемной усадкой при отверждении и хорошо соединяются с большинством металлических образцов.

Обработку шлифа на плоскость производят с помощью напильника или наждачного круга. Затем производят шлифовку вручную или на шлифовальных станках. Шлифование осуществляют на 4–5 номерах наждачной бумаги, последовательно уменьшая размер абразива. Направление движения образца по наждачной бумаге при смене номера бумаги следует изменять на 90° , а шлифование на одном номере вести до исчезновения рисок от предыдущей шлифовальной бумаги. При смене номера бумаги следует удалять со шлифа частички абразива. После шлифования на последней бумаге шлиф тщательно промывают в воде, чтобы частички абразива не попали на полировальный круг.

При шлифовании очень мягких металлов в ряде случаев шкурку предварительно смачивают в керосине или натирают парафином (например, при изготовлении микрошлифов из алюминия), чтобы свести к минимуму вдавливание абразивных частиц в поверхность шлифов.

Полирование служит для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа. Применяют механическое или электрохимическое полирование.

Механическое полирование производят на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом (фетр, сукно, драп), на который непрерывно или периодически наносят очень мелкий абразив в виде суспензии в воде. В качестве абразивов применяют оксид хрома, оксид алюминия и оксид железа. Все более широкое использование находят полировальные алмазные пасты, которые наносят на специальную ткань или бумагу.

Полирование ведут до получения зеркальной поверхности, и оно считается законченным, когда на поверхности шлифа под микроскопом не наблюдаются риски или царапины. После полировки шлиф промывают в воде или спирте и сушат полированную поверхность фильтровальной бумагой.

Электрохимическое полирование основано на использовании процесса анодного растворения металла, который при определенных условиях протекает с образованием гладкой блестящей поверхности. Образец после механического шлифования погружают в качестве анода в электролизную ванну и выдерживают при заданном режиме (напряжении, плотности тока и температуре электролита) определенное время. Катодом обычно служит пластинка, изготовленная из нержавеющей стали.

Преимуществом электрополировки является отсутствие на поверхности шлифа деформированного слоя, образующегося при шлифовании или механическом полировании.

Работоспособность (качество) металла зависит от размеров природного зерна, а также от вида рабочей нагрузки на деталь

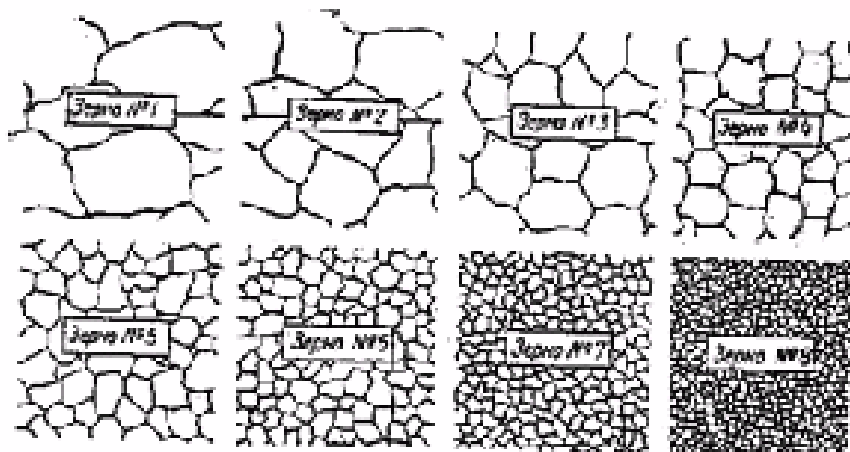


Рисунок - Стандартная шкала размеров зерна

Контрольные вопросы:

- 1.Какова цель исследования металлов?
- 2.Что такое микроструктура металлов?
- 3.Как приготовить образец металла для микроанализа?
- 4.Что такое макроструктура металлов?
- 5.Как подготовить образец для макроанализа?
- 6.Каким образом размер зерна влияет на механическую прочность металла или сплава?

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;
 «4» - 7-8 баллов
 «3» - 5-6 баллов
 «2» - < 5 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.

2. Моряков О.С. Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Интернет-ресурсы

1. <https://infourok.ru/laboratornoprakticheskaya-rabota-tema-makroanaliz-metallov-i-splavov-781246.html> МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по выполнению лабораторно-практических работ – доступ свободный

Инструкция по практическому занятию № 2

Тема: Методы измерения твердости металлов и сплавов

Цель занятия: ознакомление с различными методами определения твердости металлов.

Этапы занятия:

1. Используя материал теоретической части, проанализировать методы измерения твердости металлов и сплавов.
2. Начертить эскизы методов измерения твердости.
3. Заполнить таблицу 1.

Теоретическая часть

Твердостью называют способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. Высокой твердостью должны обладать металлорежущие инструменты: резцы, сверла, фрезы, а также поверхностноупрочненные детали. Твердость металла определяют способами Бринелля, Роквелла и Виккерса

Способ Бринелля (ГОСТ 9012-59) основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливают под постоянной нагрузкой стальной закаленный шарик. Диаметр шарика и величину нагрузки устанавливают в зависимости от твердости и толщины испытываемого металла. Твердость по Бринеллю определяют на твердомере ТШ (твердомер шариковый). Испытание проводят следующим образом. На поверхности образца, твердость которого нужно измерить, напильником или абразивным кругом зачищают площадку размером 3-5 см². Образец ставят на столик прибора и поднимают до соприкосновения со стальным шариком, который укреплен в шпинделе прибора. Груз опускается и вдавливает шарик в испытываемый образец. На поверхности металла образуется отпечаток. Чем больше отпечаток, тем металл мягче.

За меру твердости НВ принимают отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка диаметром d и глубиной t , который образуется при вдавливании силой P шарика диаметра D (см. рис. 1, а).

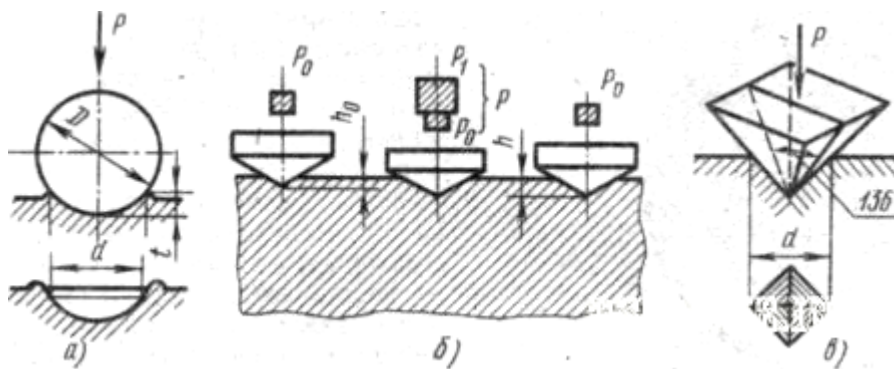


Рис. 1. Определение твердости металла методами Бринелля (а), Роквелла (б) и Виккерса (в)

Числовое значение твердости определяют так: измеряют диаметр отпечатка с помощью оптической лупы (с делениями) и по полученному значению находят в таблице, приложенной к ГОСТу, соответствующее число твердости.

Преимущество способа Бринелля заключается в простоте испытания и точности получаемых результатов. Способом Бринелля не рекомендуется измерять твердость материалов с $HV > 450$, например закаленной стали, так как при измерении шарик деформируется и показания искажаются.

Для испытания твердых материалов применяют способ Роквелла (ГОСТ 9013-59). В образец вдавливают алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм. Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах. Условная величина единицы твердости соответствует осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Испытание проводят на приборе ТК. Значение твердости определяется по глубине отпечатка h и отсчитывают по циферблату индикатора, установленному на приборе. Во всех случаях предварительная нагрузка P_0 равна 100 Н.

При испытании металлов с высокой твердостью применяют алмазный конус и общую нагрузку $P = P_0 + P_1 = 1500$ Н. Твердость отсчитывают по шкале «С» и обозначают HRC.

Если при испытании берется стальной шарик и общая нагрузка 1000 Н, то твердость отсчитывается по шкале «В» и обозначается HRB.

При испытании очень твердых или тонких изделий используют алмазный конус и общую нагрузку 600 Н. Твердость отсчитывается по шкале «А» и обозначается HRA. Пример обозначения твердости по Роквеллу: HRC 50 - твердость 50 по шкале «С».

При определении твердости способом Виккерса (ГОСТ 2999-75) в качестве вдавливаемого в материал наконечника используют четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136° . При испытаниях применяют нагрузки от 50 до 1000 Н (меньшие значения нагрузки для определения твердости тонких изделий и твердых, упрочненных поверхностных слоев металла). Числовое значение твердости определяют так: замеряют длины обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки и с помощью микроскопа и по полученному среднему

арифметическому значению длины диагонали находят в таблице соответствующее число твердости. Пример обозначения твердости по Виккерсу – HV 500.

Для оценки твердости металлов в малых объемах, например, на зернах металла или его структурных составляющих применяют способ определения *микротвердости*. Наконечник (индентор) прибора представляет собой алмазную четырехгранную пирамиду (с углом при вершине 136° , таким же, как и у пирамиды при испытании по Виккерсу). Нагрузка на индентор невелика и составляет 0,05-5 Н, а размер отпечатка 5-30 мкм. Испытание проводят на оптическом микроскопе ПМТ-3, снабженном механизмом нагружения. Микротвердость оценивают по величине диагонали отпечатка.

Усталостью называют процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений, приводящий к образованию трещин и разрушению. Усталость металла обусловлена концентрацией напряжений в отдельных его объемах, в которых имеются неметаллические включения, газовые пузыри, различные местные дефекты и т. д. Характерным является усталостный излом, образующийся после разрушения образца в результате многократного нагружения (рис. 11) и состоящий из двух разных по внешнему виду частей. Одна часть излома 1 с ровной (затертой) поверхностью образуется вследствие трения поверхностей в области трещин, возникших от действия повторно-переменных нагрузок, другая часть 2 с зернистым изломом возникает в момент разрушения образца. Испытания на усталость проводят на специальных машинах. Наиболее распространены машины для повторно-переменного изгибающего вращения образца, закрепленного одним или обоими концами, а также машины для испытаний на растяжение – сжатие и на повторно-переменное кручение. В результате испытаний определяют предел выносливости, характеризующий сопротивление усталости.

Таблица 1.

№ п/п	Основные показатели методов	Метод Бринелля	Метод Роквелла	Метод Виккерса
1.	Применяемый индентор			
2.	Параметры определения твердости			
3.	Число твердости			

4. Указать преимущества методов.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Как формируется металлический слиток?
2. Какими методами изучают строение металлов?
3. Как определяют прочность металлов?
4. Что такое твердость и какими способами ее определяют?

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

4. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
5. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
6. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Инструкция по практическому занятию №3

Тема: Анализ диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов

Цель занятия: Изучение структуры железоуглеродистых сплавов при их термических превращениях в соответствии с диаграммой «Железо – цементит».

Этапы занятия:

1. Используя материал теоретической части, проанализировать диаграмму состояния «Железо – цементит».
2. Выбрать по заданию преподавателя согласно таблице 1 вариант контрольного задания, т.е. выбрать железоуглеродистый сплав с определенным содержанием углерода.
3. Начертить эскизы диаграммы состояния «Железо – цементит», с указанием содержания углерода в сплаве (по своему варианту).

4. По диаграмме «Железо-цементит» рассмотреть превращения, происходящие при медленном охлаждении данного сплава от температуры 1600°C.
5. Указать превращения, фазы, структурные составляющие, критические температуры, характеризующие медленное охлаждение данного сплава.

По итогам выполнения работы выставляется одна общая отметка.

Теоретическая часть

Железоуглеродистые сплавы — стали и чугуны — важнейшие металлические сплавы современной техники. По объему производства чугуна и стали намного более чем в 10 раз превосходит производство всех других металлов вместе взятых.

Железоуглеродистые сплавы, содержащие от 0,02% до 2,14% углерода, относят к *сталям*, а с содержанием от 2,14% до 6,67% углерода - к *чугунам*. Стали и чугуны представляют собой твердые растворы внедрения.

Изучение структуры и свойств железоуглеродистых сплавов в зависимости от температуры целесообразно проводить с помощью диаграммы состояния «Железо — цементит». В этом случае по оси абсцисс рассматривается часть системы от железа до химического соединения железа с углеродом Fe_3C , называемого цементитом; а по оси ординат – температура.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Железо - металл серебристого цвета. Удельный вес равен 7,82 г/см³; температура плавления 1539° С; атомный вес 55,85; атомный радиус 1,27 Å. Железо известно в двух полиморфных модификациях: α -Fe и γ -Fe. Модификация α -Fe существует при температурах ниже 911°C и выше 1392°C (рис. 2), для интервала температур 1392-1539 °C α -Fe нередко обозначают как δ -Fe. Кристаллическая решетка α -Fe - объемноцентрированный куб (о.ц.к.) с периодом решетки 2,86 Å. До температуры 768°C α -Fe магнитно (ферромагнитно), а выше температуры 768° С - парамагнитно. Критическую точку (768°C), соответствующую магнитному превращению, т. е. переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри и обозначают A_2 .

γ -Fe существует в интервале температур от 911 °C до 1392 °C (рис.1); оно парамагнитно, кристаллическая решетка γ -Fe – гранецентрированная кубическая (г.ц.к.). Критическую точку превращения α -Fe в γ -Fe (911°C) обозначают A_3 , а перехода γ -Fe в δ -Fe при 1392 °C - A_4 .

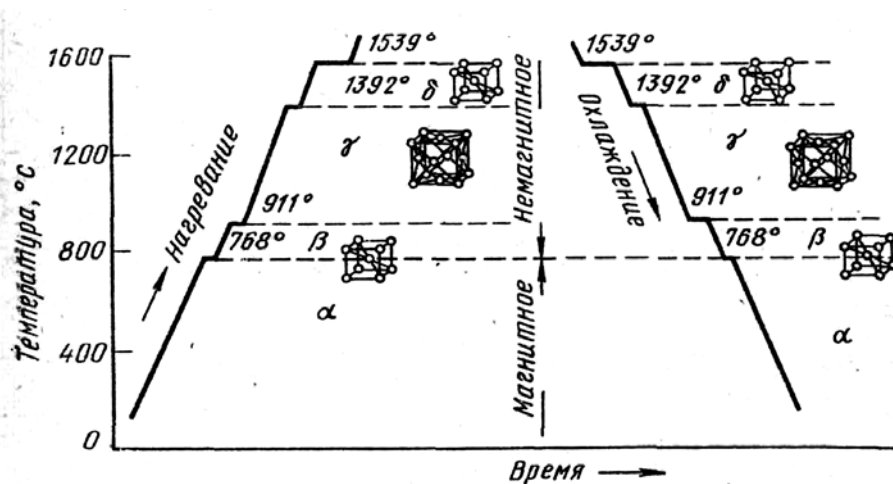


Рисунок 1 - Кривые нагрева и охлаждения чистого железа

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

Углерод является неметаллическим элементом. Удельный вес равен 2,5 г/см³; атомный вес 12,011; температура плавления 3500 °С; атомный радиус равен 0,77 Å. В свободном состоянии углерод встречается в трех аллотропических модификациях: в виде алмаза, графита и угля. Углерод растворим в жидком и в твердом железе, а также может образовывать с железом химическое соединение - цементит (карбид железа).

Цементит - химическое соединение железа с углеродом Fe₃C, содержащее 6,67% С (карбид железа). Цементит имеет сложную решетку с высоким координационным числом и сильными металлическими связями между атомами железа. Температура плавления цементита около 1250°С. Аллотропических превращений цементит не испытывает, но при низких температурах он слабо ферромагнитен. Цементит имеет высокую твердость (НВ > 800), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Цементит — соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита.

Цементит может образовываться из жидкой и твердой фаз при различных температурах. Цементит, выделяющийся из жидкой фазы, называют первичным, из аустенита – вторичным, а их α-феррита – третичным.

Феррит — твердый раствор углерода в α-железе. Различают низкотемпературный α-феррит с растворимостью углерода до 0,02 % (точка Р рисунок 2) и высокотемпературный δ-феррит с предельной растворимостью углерода 0,1 % (точка Н). α-феррит может содержать в твердом растворе при 723 °С до 0,02% углерода (точка Р), а при комнатной температуре — только 0,006 % углерода (точка Q). Феррит имеет объемно-центрированную кубическую решетку и ферромагнитен (до 768 °С), его твердость НВ ≈ 60.

Аустенит — твердый раствор углерода в γ-железе. Аустенит имеет гранецентрированную кубическую решетку. γ-Fe при температуре 1147°С максимально растворяет углерод - 2,14 % (точка Е), а при температуре 723°С

- до 0,8% углерода (точка S). В чистых сплавах железа с углеродом и в простых углеродистых сталях аустенит устойчив только при высоких температурах. Аустенит, как и γ -железо, немагнитен и вязок. Твердость аустенита HB 170 -220.

Диаграмма состояния «Fe – Fe₃C»

Диаграмма состояния «Fe – Fe₃C» представлена на рисунке 2.

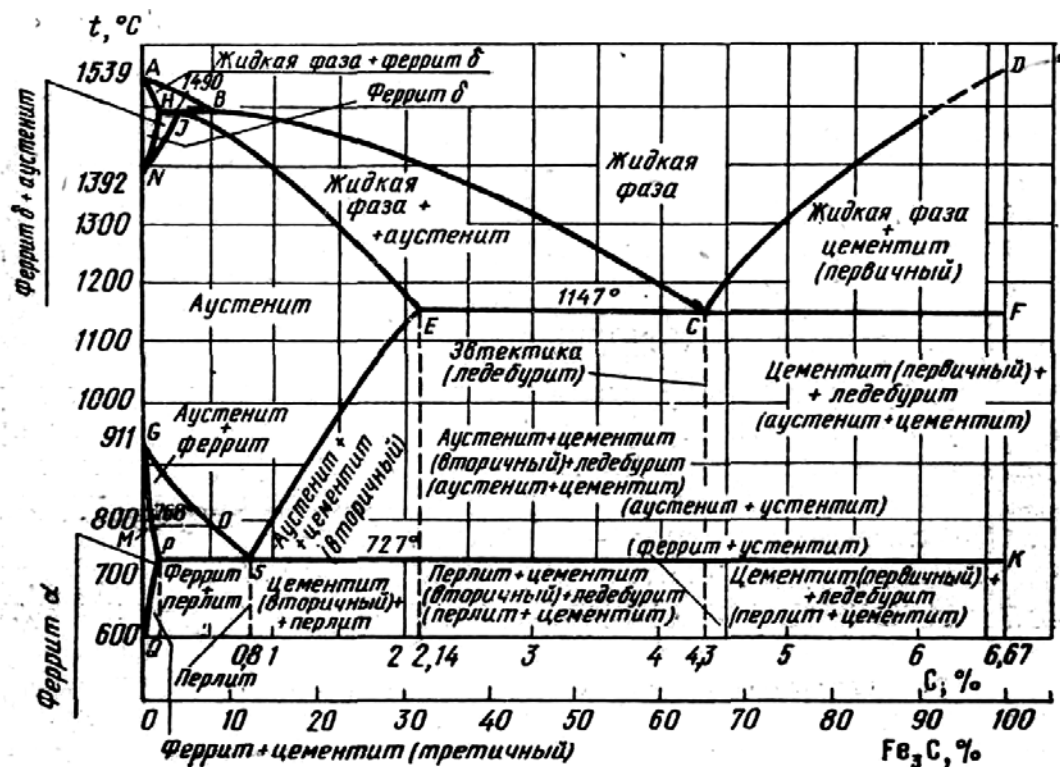


Рисунок 2 - Диаграмма состояния сплавов «Fe—Fe₃C»

По горизонтальной оси диаграммы откладывается содержание углерода от 0 до 6,67% или от 0 до 100% цементита Fe₃C, а по вертикальной оси — температура. Каждая точка на диаграмме характеризует определенный состав сплава при определенной температуре.

В ПРИЛОЖЕНИИ приведены таблицы, где указаны соответствующие точкам диаграммы «Fe – Fe₃C» значения температур и концентраций углерода (табл.1) и значения критических точек диаграммы «Fe – Fe₃C» (таблица 2).

Верхняя часть диаграммы

Линия ABCD называется ликвидусом (по латыни ликвидус — «жидкий»), начало затвердевания сплавов при переходе из жидкого состояния в твердое, выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.

Линия ANJESCF является линией конца затвердевания сплавов и называется солидусом (по латыни солидус — «твердый»).

Чистое железо плавится и затвердевает при 1539 °С (ось ординат). Эвтектический сплав, содержащий 4,3% углерода, плавится и затвердевает при температуре, соответствующей т.С (1130 °С). Остальные сплавы

претерпевают плавление и кристаллизацию в определенном интервале температур в зависимости от содержания углерода.

При температурах, соответствующих линии АВ, из жидкого сплава начинает выделяться твердый раствор δ -феррита. В области АНВ существует двухфазное состояние системы – жидкая фаза + кристаллы δ -феррита. Далее на горизонтали НJB при 1499° происходит перитектическое превращение согласно реакции:

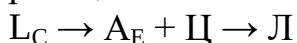


при котором жидкая фаза состава точки В (L_B) в количестве, определяемом отрезком НJ, и δ -феррит, состава точки Н, (Φ_H), реагируя между собой, образуют аустенит, состава точки J, (A_J). Поэтому в сплавах, лежащих левее точки J (линия HJN) и потому имеющих избыточное количество кристаллов твердого δ -феррита, при переходе линии перитектического превращения образуется структура - аустенит плюс кристаллы δ -феррита; в сплавах, лежащих левее т.Н (область АHN) структура - δ -феррит, а в сплавах, лежащих правее точки J и имеющих избыточное количество жидкой фазы, при переходе линии перитектического превращения образуется структура - аустенит и жидкая фаза.

Правее точки В при температурах, соответствующих линии ВС и ниже ее, из жидкого сплава выделяются кристаллы аустенита с пониженным содержанием углерода, а оставшийся жидкий сплав по мере охлаждения обогащается углеродом.

Затвердевание сплавов, содержащих до 2,14 % С, заканчивается на линии АНJE (линия солидус). Ниже линии NJE сплавы состоят только из одного аустенита.

Затвердевание сплавов, содержащих от 2,14 до 6,67 % углерода, заканчивается на линии ЕСF – линии эвтектического превращения. В этом случае жидкий сплав состава точки С (4,3% углерода) кристаллизуется при постоянной температуре (1130°C) с образованием ледебурита (Л) согласно реакции:



Таким образом, ниже линии ЕС структура затвердевших сплавов будет состоять из аустенита и ледебурита. Ледебурит – эвтектика, т.е. механическая смесь, состоящая в момент образования из аустенита и цементита.

Сплавы, содержащие от 4,3 до 6,67 % С, начинают кристаллизоваться при температурах, соответствующих линии CD (ликвидус) и ниже. Сначала из жидкого сплава выделяются кристаллы первичного цементита, вследствие чего оставшийся жидкий сплав обедняется углеродом. После достижения температуры, соответствующей линии CF (солидус), оставшийся жидкий сплав принимает состав точки С и затвердевает при постоянной температуре. В результате кристаллизации такие сплавы имеют структуру, состоящую из первичного цементита и ледебурита.

Таким образом, сплавы с содержанием менее 2,14 % углерода, будут иметь в структуре аустенит; сплавы, содержащие от 2,14 % до 4,3 %

углерода, - ледебурит и аустенит; с содержанием 4,3 % углерода – ледебурит; а с содержанием углерода от 4,3 до 6,67% - ледебурит и первичный цементит.

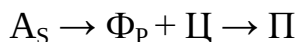
Нижняя часть диаграммы

В структуре сплавов «Fe—Fe₃C» превращения протекают также и в твердом состоянии. Это объясняется:

- а) переходом железа из одной аллотропической формы в другую;
- б) изменением растворимости углерода как в γ -железе, так и в α -железе при понижении температуры.

Линия GS (точка A₃) определяет собой температуры начала выделения из аустенита α -феррита. Она показывает, что температура образования α -феррита понижается с 911°C для чистого железа до 723° С для сплава, содержащего 0,8% углерода. Феррит, выделяющийся в процессе охлаждения из аустенита, содержит не более 0,02% С, поэтому его выделение ведет к обогащению оставшегося аустенита углеродом.

При понижении температуры до 723° (линия PSK) сплав будет состоять из α -феррита и аустенита, содержащего 0,8 % С. На линии PSK (точка A₃) происходит **эвтектоидное** превращение, описываемое реакцией



т.е. аустенит (A_S), состава точки S, превращается в перлит (Π) – механическую смесь кристаллов феррита (Φ_P) и цементита (Ц). Такая смесь называется эвтектоидной.

В результате эвтектоидного превращения сплавы, содержащие менее 0,8 % углерода, имеют структуру, состоящую из феррита и перлита; а содержащие 0,8 % углерода - структуру, состоящую из одного перлита.

Различие между перлитным и эвтектическим превращениями заключается в том, что перлит образуется из твердой фазы, а не из жидкой, как ледебурит.

Линия SE (точка A_{сr}) определяет растворимость углерода в аустените в зависимости от температуры. При 1130 °С в аустените растворяется 2,14% углерода. С понижением температуры растворимость углерода постепенно уменьшается и при 723 °С составляет 0,8% углерода. Поэтому линия SE является линией начала выделения вторичного цементита при охлаждении аустенита, содержащего более 0,8% углерода. Так как цементит отличается высоким содержанием углерода (6,67% С), то выделение цементита ведет к уменьшению количества углерода в остающемся аустените. Это продолжается до эвтектоидной температуры 723 °С, т. е. до линии PSK (точка A₁), когда оставшийся аустенит обедняется углеродом до 0,8% и превращается в перлит. Структура сплавов, содержащих от 0,8 до 2,14% углерода, будет состоять из перлита и вторичного цементита.

Во всех сплавах, содержащих от 0,02 до 6,67% С, на линии PSK происходит перлитное (эвтектоидное) превращение, т.е. аустенит, достигнув концентрации 0,8% углерода, переходит в перлит. Между линиями ECF и PSK в сплавах, с содержанием более 2,14% углерода, ледебурит, который выше линии PSK состоял из механической смеси цементита и аустенита, ниже этой линии будет состоять из смеси цементита и перлита. В

зависимости от состава сплавы, содержащие от 2,14 до 4,3 % углерода, будут иметь структуру, состоящую из перлита, вторичного цементита и ледебурита, сплавы с 4,3% — структуру - из одного ледебурита, а сплавы с 4,3 до 6,67% С — структуру из первичного цементита и ледебурита.

Линия PQ в нижней левой части диаграммы определяет изменение растворимости углерода в α -феррите. При 723° С в α -феррите растворяется до 0,02% углерода. С понижением температуры растворимость углерода в α -феррите быстро уменьшается и при 0° составляет всего 0,006%. В связи с этим при охлаждении из феррита начинает выделяться углерод в виде третичного цементита (по линии PQ), и ниже этой линии структура состоит из феррита и третичного цементита. Внутри площадки 0GPQ структура сплавов состоит из одного α -феррита.

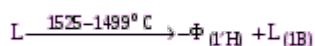
Железоуглеродистые сплавы с концентрацией углерода до 0,02 % называются железом, с концентрацией углерода от 0,02 % до 2,14 % - сталями, а с концентрацией углерода от 2,14 до 6 % - чугунами.

В зависимости от равновесной структуры стали делятся на доэвтектоидные (с содержанием углерода $< 0,8\%$), структура которых состоит из феррита и перлита; эвтектоидные ($C \approx 0,8\%$), структура которых состоит только из перлита; и заэвтектоидные ($C = 0,8 \div 2,14\%$), структура которых состоит из перлита и вторичного цементита. В свою очередь, чугуны делятся на доэвтектические ($C = 2,14 \div 4,3\%$), структура которых – перлит плюс ледебурит; эвтектические ($C \approx 4,3\%$) , структура – ледебурит и заэвтектические ($C > 4,3\%$), структура - ледебурит и первичный цементит.

ПРИМЕР № 1

Проследим по диаграмме состояния «Fe-Fe₃C» за формированием структуры сплава с содержанием углерода 0,3% (сплав I) при его медленном охлаждении от температуры 1600°С. Соответствующие критические точки показаны на фигуративных линиях (рисунок 3).

Доэвтектоидная сталь с 0,3% С выше 1525°С находится в жидком состоянии. Кристаллизация ее начинается при 1525°С (точка 1) с выделением из жидкого раствора кристаллов δ -феррита. В процессе кристаллизации сплава δ -феррит изменяет свой состав согласно линии АН, а жидкость - согласно линии АВ от точки 1 до В. Эту стадию кристаллизации сплава I можно записать так:



В области АВН данный сплав состоит из двух фаз - δ -феррита и жидкой фазы.

При температуре 1499°С (точка 2) δ -феррит (0,1% С) вступает во взаимодействие с жидким раствором (0,51% С); в результате этой реакции образуются кристаллы аустенита (0,16% С). Такое превращение называют перитектическим. Оно протекает при постоянной температуре до исчезновения феррита, в этом случае система невариантна ($C = 2 - 3 + 1 = 0$; фазы: аустенит и жидкий раствор):

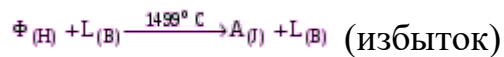
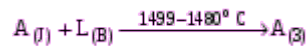


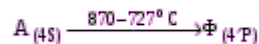
Рисунок 3. Диаграмма состояния сплавов «Fe—Fe₃C»

При охлаждении ниже температуры точки 2 процесс кристаллизации продолжается и по достижению температуры 1480°C (точка 3) сплав затвердевает, имея структуру аустенита

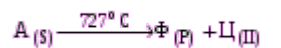


Таким образом, заканчивается первичная кристаллизация сплава. При дальнейшем охлаждении до 870 °C данный сплав, состоящий только из аустенита, превращений не претерпевает.

При температуре 870°C (точка 4) в результате полиморфного превращения $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ из аустенита начинает образовываться α -феррит. Понижение температуры способствует выделению α -феррита и изменению состава фаз: α -феррита согласно линии GP (точки от 4' до P) и аустенита GS (от 4 до S)



На линии PSK (точка 5) происходит эвтектоидное превращение. Аустенит, содержащий 0,8% углерода, распадается на ферритоцементитную смесь - перлит:



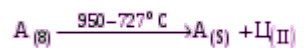
Следовательно, структура сплава ниже линии PSK (точка A₁) состоит из α -феррита и перлита.

ПРИМЕР № 2

Проследим за формированием структуры сталей с содержанием углерода 1,5% (сплав II) при его медленном охлаждении от температуры 1600 °C. Соответствующие критические точки показаны на фигуративных линиях (рис.3).

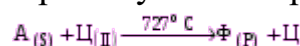
Заэвтектоидная сталь с содержанием углерода 1,5% начинает кристаллизоваться при температуре 1450 °C (линия BC). По мере охлаждения в интервале температур 1450-1250 °C (от точки 6 до 7) из жидкой фазы выделяются кристаллы аустенита и по достижению температуры точки 7 (линия JE – солидус) кристаллизация заканчивается, и сплав состоит только из одного аустенита.

В интервале температур 1250-950 °C (от точки 7 до 8) аустенит охлаждается, не претерпевая никаких превращений. При охлаждении сплава ниже 950°C (линия SE, точка 8) концентрация углерода в аустените уменьшается, и он выделяется в виде вторичного цементита.



Структура сплавов ниже линии SE (точка A_{ст}) будет состоять из аустенита и вторичного цементита.

При температуре 723°C (точка 9) в сплаве происходит эвтектоидное превращение, в результате которого аустенит превращается в перлит.



Ниже температуры 723°C структуру данного сплава составляют перлит и вторичный цементит.

Таблица 1. Варианты контрольных заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C%	0,05	0,16	0,12	1,4	5,0	2,5	1,0	0,6	2,8	1,2	0,35	0,2
№ варианта	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C%	0,4	1,6	0,5	2,3	5,50	0,8	0,02	0,2	3,50	2,1	0,75	0,9

Таблица 2. Соответствие значений температур и концентраций углерода точкам диаграммы «Fe – Fe₃C»

Обозначение точки	Температура, °C	Концентрация углерода, %
A	1539	0
B	1499	0,5
H	1499	0,1
J	1499	0,16
N	1392	0
E	1147	2,14
C	1147	4,3
F	1147	6,67
D	1250	6,67
G	911	0
P	727	0,02
S	727	0,8
K	727	6,67
Q	~600	0,01
L	~600	6,67

Эвтектика (от греч. *éutektos* - легко плавящийся), жидкая система (раствор или расплав), находящаяся при данном давлении в равновесии с твёрдыми фазами, число которых равно числу компонентов системы.

Перитектика- перите́ктика (от греч. *peritēkō*— плавлю, расплавляю, разжигаю), равновесие трёх фаз в системе, состоящей из компонентов А и В: двух твёрдых растворов на основе А и В и жидкого раствора (расплава).

Перитектика существует при постоянной температуре, называемой перитектической точкой, которая является промежуточной между температурами плавления чистых веществ А и В. Образование перитектики используется в металловедении, производстве материалов для микроэлектроники.

Перитектическим превращением называется такое превращение, когда при взаимодействии жидкого расплава с твёрдой фазой образуется другая твёрдая фаза.

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

7. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Металловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
8. Моряков О.С Металловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
9. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Инструкция

по практическому занятию № 4

Тема: Изучение микроструктуры чугунов

Цель занятия: изучение типичных микроструктур чугунов и установление связи между их микро-строением, классификационными признаками и механическими свойствами.

Теоретическая часть

Чугун является одним из основных среди литейных материалов, применяемых в металлургии и машиностроении. Широкое распространение отливок из чугуна объясняется экономической целесообразностью получения деталей сложной формы путем литья.

Чугун отличается лучшими технологическими свойствами: жидкотекучестью, хорошим заполнением формы в тонких сечениях и малой усадкой.

Классификация чугунов по состоянию углерода и форме графита

Чугунами называются сплавы железа с углеродом и другими элементами при содержании углерода свыше 2,14%, то есть более предельной растворимости углерода в гамма-железе. Углерод в чугунах может находиться в связанном состоянии (в виде цементита) и в свободном состоянии (в виде графита). Состояние углерода в чугуне и форма графитных включений играют решающую роль в достижении наиболее высоких показателей механических свойств. Поэтому главными классификационными признаками чугунов являются состояние углерода (связанное или свободное) и форма графитных включений (пластинчатая или округлая). В соответствии с этим различают:

- **белый чугун** - весь углерод в белом чугуне находится в связанном состоянии в виде карбида железа - цементита;
- **серый чугун** - углерод в основном находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы и частично может находиться в перлитной составляющей металлической основы в виде цементита (до 0,8);
- **высокопрочный чугун** содержит до 0,8% С в металлической основе в связанном состоянии, а остальной углерод находится в свободном состоянии в виде шаровидного графита;
- **ковкий чугун** получается путем отжига (графитизирующий отжиг или томление) отливок белого чугуна, в результате чего цементит распадается с образованием своеобразных по форме хлопьевидных графитных включений, при этом связанный углерод присутствует только в перлите металлической основы.

Получение и практика использования чугунов

Строение белых чугунов формируется при первичной кристаллизации в соответствии с диаграммой состояния "железо-цементит" (рис.1).

В зависимости от содержания углерода белые чугуны классифицируются:

- на эвтектические, содержащие 4,3% С;
- доэвтектические, содержащие от 2,14 до 4,3% С;
- заэвтектические, содержащие свыше 4,3% С.

При дальнейшем охлаждении происходят вторичные превращения, обусловленные распадом аустенита, с выделением вторичного цементита и образованием перлита. Однако форма структурных составляющих, полученных при затвердевании, сохраняется.

Белые чугуны являются весьма твердыми (до 750 НВ), в связи с чем их используют как конструкционный материал для изготовления деталей, которые подвержены в эксплуатации интенсивному изнашиванию, например шары для мельниц и камнедробилок, дробь для очистки литых деталей в дробеструйных аппаратах и др. Используются также белые чугуны в металлургической промышленности в качестве передельных на сталь и для

получения ковких чугунов. В связи с повышенной хрупкостью и трудной обрабатываемостью резанием белые чугун, как конструкционный материал, имеют ограниченное применение.

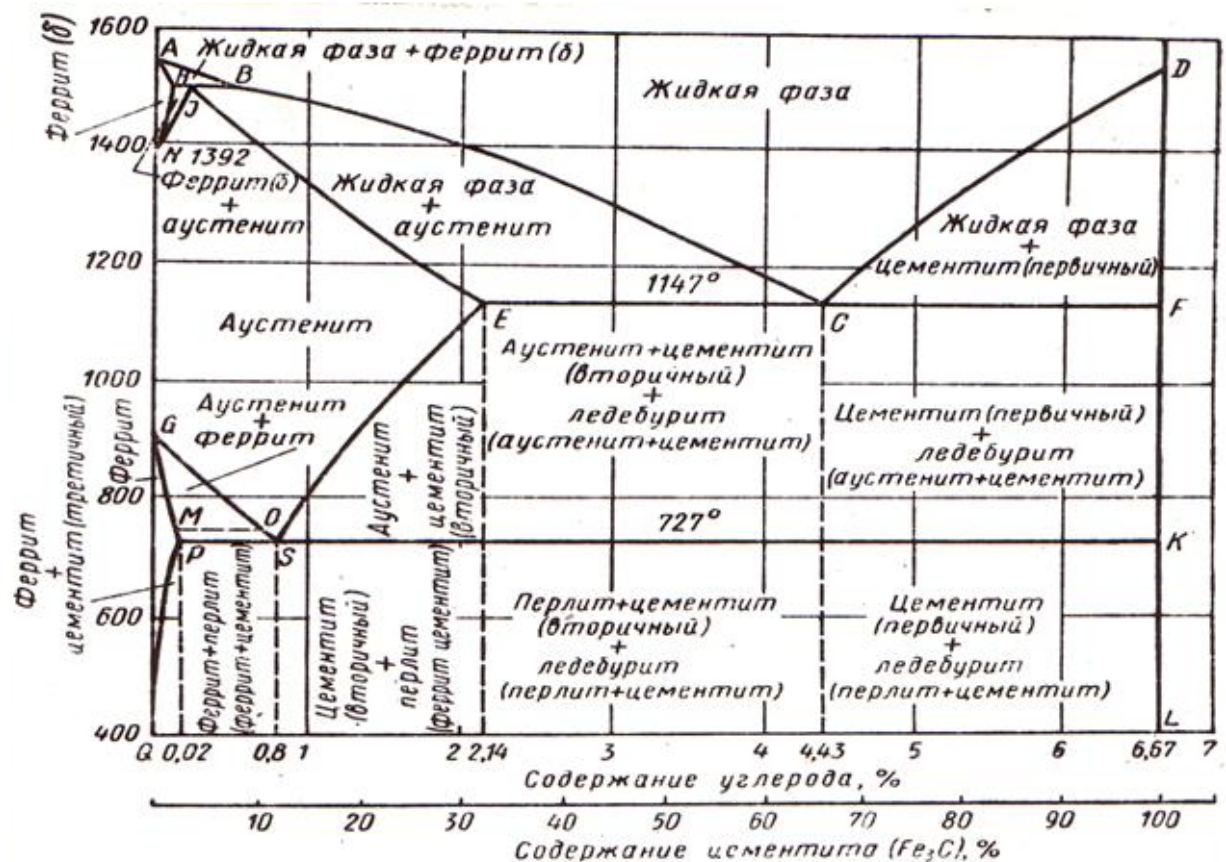


Рис.1. Диаграмма состояния “железо-цементит”

Используются в практике белые чугуны, как правило, доэвтектического состава: 2,8...3,6% углерода; 0,5...0,8% кремния; 0,4...0,6% марганца.

В настоящее время развивается новое направление использования белых чугунов, получаемых наплавкой, на быстроизнашивающихся поверхностях рабочих органов землеройных машин.

Серый чугун получают при более медленном охлаждении, чем белый чугун. Скорости охлаждения до 0,1 град/мин обуславливают необходимость в меньших степенях переохлаждения для начала кристаллизации, которая начинается с выделения графита. При таких, более равновесных, условиях кристаллизации получается стабильная диаграмма состояния сплавов "железо-графит", отличие которой от железо-цементитной диаграммы состояния показано пунктирными линиями на

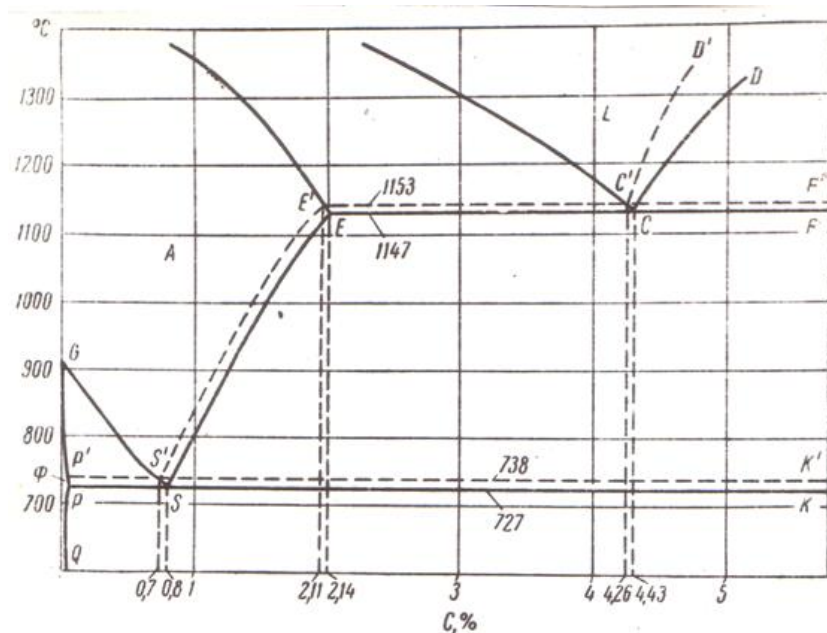


Рис.2. Диаграмма состояния: сплошные линии – цементитная система; пунктирные – графитная

Вместе с тем, практика получения серых чугунов существенно отличается от условий равновесия, вытекающих из стабильной диаграммы состояния "железо-графит". В реальных условиях структура серого чугуна в отливке зависит не только от скорости кристаллизации, обусловливаемой толщиной стенки отливки, но и в сильной мере от химического состава сплава.

Наибольшее влияние на процесс графитизации оказывает кремний, который вводится в сплав в повышенных количествах. Учитывая сильное влияние кремния на процесс структурообразования, серый чугун (в отличие от стали) рассматривается как трехкомпонентная система: "железо-углерод-кремний". Типичный состав серого чугуна: 3,5...3,6% углерода; 1,5...3,0% кремния; 0,4...0,6% марганца; 0,3...0,8% фосфора; 0,10...0,12% серы. Иногда в серый чугун вводят и другие элементы, например, хром, никель, медь или повышенное содержание фосфора и др. Делают это с целью достижения более высоких механических, антикоррозионных, износостойких и др. свойств. Такие серые чугуны называются легированными или специальными. Процесс структурообразования в них будет еще зависеть от характера влияния легирующих добавок.

Применяются серые чугуны довольно широко: в станкостроении (станины, литые корпусные детали, червяки, шестерни); в авто-тракторостроении (блоки цилиндров, цилиндры, поршни); в турбино- и сельхозмашиностроении и т. д.

Высокопрочный чугун получают путем двойного модифицирования. Вначале в расплав вводят редкоземельные или щелочные металлы, например, магний, церий, бор и др., а затем - кремний или силикокальций. Первый модификатор (обычно вводится в количестве 0,3...0,5%), являясь поверхностно активным, способствует формированию сфероидальных зародышей графита, а второй - инициирует процесс графитизации.

Примерный состав высокопрочного чугуна: 3,3% углерода; 2,2...2,5% кремния; 0,5...0,8% марганца; 0,14% фосфора; 0,2 % серы.

Применяются высокопрочные чугуны для отливки деталей ответственного назначения: коленчатых валов, валков прокатных станов, подшипников скольжения, шаботов, молотов, деталей вентилях, компрессоров и др. Широкое распространение высокопрочного чугуна сдерживается технологической трудностью введения первого модификатора в расплав чугуна из-за вызываемого им сильного пиротехнического эффекта.

Ковкий чугун получают длительным отжигом (томлением) отливок из белого чугуна следующего состава: 2,4...2,8% углерода; 0,8...1,4% кремния; до 1,0% марганца; до 0,1% серы; до 0,2% фосфора. В результате отжига цементит графитизируется, приобретая форму хлопьевидных включений. Получаемый чугун характеризуется повышенными показателями пластичности и вязкости по сравнению с серым литейным чугуном. Отжиг, в основе которого лежит **диффузионный** механизм образования структурно свободного углерода (графита хлопьевидной формы), является длительной операцией и составляет 70...80 ч (рис.3).

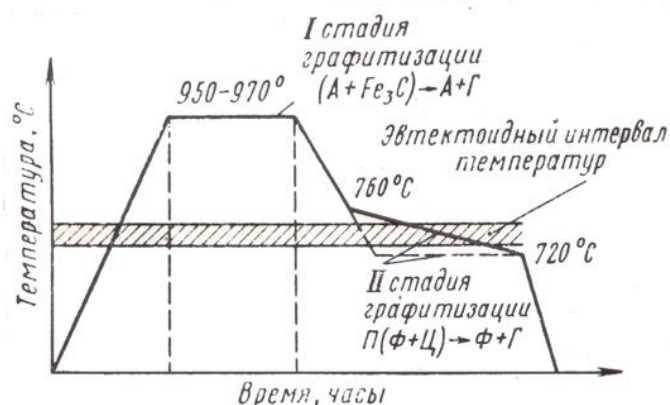


Рис.3. Режимы термической обработки ковкого чугуна

В зависимости от степени завершенности графитизации на 2-й стадии (рис.3) микроструктура металлической основы ковкого чугуна будет ферритной или перлитной. В изломе ферритный ковкий чугун имеет темный цвет и его принято называть черносердечным, а перлитный ковкий чугун по его цвету излома - светлосердечным.

Применять ковкий чугун, как конструкционный материал, целесообразно для деталей, работающих в трудных условиях знакопеременных и вибрационных нагрузок. В практике из ковкого чугуна изготавливают детали, работающие при высоких динамических и статических нагрузках (картеры **редукторов**, задние мосты, ступицы, крюки, скобы, кронштейны и др.), детали, испытывающие в работе повышенный износ (вилки карданных валов, шестерни, собачки, звенья и ролики цепей конвейеров, муфты, тормозные колодки, подшипники скольжения). Следует отметить, что из ковкого чугуна изготавливают детали сечением до 50 миллиметров. Объясняется это тем, что в отливках с большей толщиной не удастся предотвратить образование пластинчатого графита при первичной

кристаллизации, лишая тем самым ковкий чугун преимуществ перед серым чугуном.

Термическая обработка чугунов

К чугунам применяют те же операции термической обработки, что и для стали: отжиг, нормализацию и закалку с отпуском. Термообработкой достигаются следующие цели:

- устранение напряжений в отливках для предохранения их от коробления и растрескивания;
- изменение структуры металлической основы чугуна для улучшения обрабатываемости резанием или получения заданных физико-механических свойств;
- устранение отбеленной корки.

Наиболее часто для чугунов применяются следующие виды отжига.

Отжиг низкотемпературный с нагревом до 550°C и выдержкой 1...8 часов. Цель отжига - предотвратить коробление и трещинообразование на отливках при механической обработке и в эксплуатации. Строение чугуна при таком отжиге остается неизменным. Иногда этот отжиг называют стабилизирующим или **старением**. Применяется ко всем видам чугунов.

Отжиг *графитизирующий* с нагревом до диапазона температур $650...750^{\circ}\text{C}$ и выдержкой при этих температурах, обеспечивающей распад эвтектоидного цементита. Конечная микроструктура после отжига состоит из перлита и графита. В заводской практике этот вид отжига может называться смягчающим, или низким, или отжигом для улучшения обрабатываемости резанием. Применяется для всех видов чугунов.

Отжиг *графитизирующий высокотемпературный* с нагревом до 950°C и выдержкой, достаточной для распада цементита и образования структуры, состоящей из аустенита и графита. Такой отжиг применяют для чугунов с исходной структурой, состоящей из ледебурита и перлита или ледебурита, перлита и графита. После отжига структура чугуна состоит из феррита и графита или феррита, перлита и графита. В заводской практике этот вид отжига можно встретить под названиями «отжиг отбеленного чугуна», «снятие отбела», «отжиг кокильного литья». В этих целях применяют иногда и нормализацию.

В качестве упрочняющей термообработки применяется закалка с последующим отпуском. Температура нагрева под закалку выбирается в интервале $830...950^{\circ}\text{C}$, а отпуска - ниже нижней критической точки, как и для стали. Микроструктура металлической основы чугуна после закалки с отпуском может быть: мартенсит отпущенный, троостит отпуска или сорбит отпуска. В заводской практике этот вид упрочняющей обработки может называться как "закалка", "улучшение" или "термическая обработка для повышения механических свойств".

Маркировка чугунов

Серые, высокопрочные и ковкие чугуны классифицируются по маркам, различающимся между собой уровнем гарантируемых механических свойств.

Серые чугуны обозначаются по ГОСТ 1412-85: СЧ 10, СЧ 15, СЧСЧ 35. Расшифровывается марка следующим образом: СЧ - серый чугун, двузначная цифра характеризует предел прочности серого чугуна при растяжении в кгс/мм.

Высокопрочные чугуны подразделяются по ГОСТ на восемь марок (ГОСТ 7293-85): ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧВЧ 100. Читается марка так: ВЧ - высокопрочный чугун, двузначная или трехзначная цифра показывает предел прочности при растяжении в кгс/мм².

Ковкие чугуны делятся по ГОСТ 1215-79 на одиннадцать марок: КЧ 30-6, КЧ-33-8, КЧ 35-Ю ... КЧ 80-1,5. Расшифровывается марка ковкого чугуна следующим образом: КЧ - ковкий чугун; первая двузначная цифра гарантирует минимальный предел прочности при растяжении в кгс/мм², вторая однозначная или двузначная - относительное удлинение в %.

Специальные чугуны, предназначенные для работы в особых условиях эксплуатации, удовлетворяют повышенным требованиям по жаростойкости, износостойкости и коррозионной стойкости. Как правило, такие чугуны легируются хромом, кремнием, никелем и др. элементами.

Ниже приведены примеры условного обозначения некоторых специальных чугунов:

АЧС - антифрикционный серый чугун по ГОСТ 1585-70;

ЖЧХ - жаростойкий и коррозионностойкий хромовый чугун по ГОСТ 7769-75;

ЖЧС5 - жаростойкий кремнистый чугун по ГОСТ 7769-75;

ЧН2Х - износостойкий и коррозионностойкий никелевый чугун по ГОСТ .

Классификация чугунов по микроструктуре металлической основы

Прочностные показатели и твердость чугунов в значительной мере определяются строением металлической основы. В связи с этим, для оценки уровня механических свойств чугунов, их принято классифицировать по микроструктуре металлической основы.

Серые чугуны в зависимости от количества связанного углерода в металлической основе могут иметь микроструктуру, состоящую из феррита и графита ; феррита, перлита и графита ; перлита и графита; перлита, фосфидной эвтектики и графита.

Ковкие чугуны по микроструктуре металлической основы могут быть ферритными; ферритно-перлитными; перлитными .

Высокопрочные чугуны, как и серые, могут иметь микроструктуру металлической основы, состоящую из феррита, феррита и перлита или только перлита.

Белые чугуны в соответствии с диаграммой "железо-цементит" (рис.1) классифицируются на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. После вторичной кристаллизации в твердом состоянии белые чугуны имеют следующую структуру: доэвтектические - ледебурит, недифференцирующийся цементит вторичный и перлит; эвтектические - ледебурит ; заэвтектические - ледебурит и избыточный цементит.

Половинчатый чугун состоит из перлита, графита и ледебурита (или цементита вторичного).

Сравнительная оценка механических свойств сталей и чугунов

Материал	Свойства				
Твердость по Бринеллю, HB	Временное сопротивление при растяжении σ_B (кгс/мм ²)	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$ (кгс/мм ²)	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость KCu $\times 10^{-1}$ (кг/см ²)	
Сталь литая низкоуглеродистая	121...143	39...46	20...30	19...25	6,0...12,0
Сталь углеродистая конструкционная горячекатаная	131...269	32...67	18...39	8,0...27,0	4,0...8,0
Серый чугун	163...241	10...35	-	0,2...0,8	0,2...1,0
Ковкий чугун	100...320	30...80	22...50	1,5...12,0	0,5...3,0
Высокопрочный чугун	140...360	35...100	30...42	2,0...22,0	1,5...3,0

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

10. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
11. Моряков О.С. Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
12. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Интернет-ресурсы

1. <http://pandia.ru/text/77/445/1754.php> МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ – доступ свободный.

Инструкция

по практическому занятию № 5

Тема: Изучение строения углеродистых сталей и чугунов в равновесном состоянии

Цель занятия: Изучить классификацию, микроструктуру, свойства и назначение сталей и чугунов.

Этапы занятия:

1. Ознакомиться с теоретической частью.
2. Заполнить таблицу 1.
3. Ответить на контрольные вопросы

Теоретическая часть

В машиностроении используются детали из заготовок, полученных способами обработки давлением или литьем. Широкое применение имеют стали и чугуны. Стали являются деформируемым материалом, иногда применяется стальное литье. Чугуны представляют собой, как правило, литейные материалы. Примеры использования этих материалов даны ниже. Легковой автомобиль среднего класса массой 1000...1100 кг имеет детали из разных сталей, составляющие 57...60 % его массы (США, Западная Европа). В станкостроении общая масса чугунных деталей равна в среднем 70...80 % от массы металлорежущего станка.

Основу химического состава сталей и чугунов составляет железо с добавками углерода менее 2,14 % (стали) или более 2,14 % (чугуны). У многих марок этих материалов дополнительно содержатся легирующие химические элементы (хром, кремний, марганец, никель, молибден и др.). Перечень основных видов сталей и чугунов по государственным стандартам приведен в табл. 3 и 4. В машиностроении преимущественно применяются конструкционные стали и отливки из чугунов, используемые для изготовления деталей машин и различных сооружений, и инструментальные стали для металлорежущих, штамповых, измерительных и других инструментов.

При изучении строения и определении качества металлических материалов в материаловедении широко используется микроструктурный анализ.

Микроанализ - изучение строения поверхностей шлифованных, полированных и протравленных образцов - микрошлифов с помощью металлографических оптических микроскопов при увеличениях обычно от '100 до '1000.

Наблюдаемое при этом строение поверхности шлифа называется **микроструктурой**. Микроструктура разных по химическому составу материалов и после их различной обработки отличается по размеру, геометрической форме, цвету, взаимному расположению отдельных структурных составляющих

Микроанализ основан на использовании законов отражения и поглощения световых лучей от поверхности непрозрачных металлических материалов (рис. 3). Полированная металлическая поверхность отражает направленные на нее перпендикулярно световые лучи и видна в окуляр микроскопа как светлая. При наличии в материале неметаллических

составляющих структуры они видны как темные, так как поглощают световые лучи.

Стали, получаемые кислородно - конверторным, электросталеплавильным и другими способами, содержат **неметаллические включения**. Это химические соединения металлов (железа, алюминия, и др.) с неметаллами (серой, кислородом, азотом и др.).

Таблица 3. Перечень основных разновидностей сталей по государственным стандартам

№№ ГОСТа	Наименование стандарта
380-88	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
535-88	Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.
1050-88	Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия.
1414-75E	Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием.
1435-90	Технические условия
4543-71	Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали
5632-72	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия
5950-73	Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
14959-79	Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия
19265-73	Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.
	Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.

Таблица 4. Перечень основных разновидностей чугунов по государственным стандартам

№№ ГОСТа	Наименование стандарта
1215-79	Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия.
1412-85	Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки.
1585-85	Чугун антифрикционный для отливок. Марки.
7293-85	Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки.
7769-82	Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки.
28394-89	Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки.



Рис. 3. Схема отражения световых лучей от поверхности полированного (а) и подвергнутого травлению (б) микрошлифа.

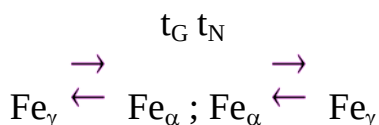
Основными видами неметаллических включений в стали по ГОСТ 1778-70 являются оксиды, сульфиды, силикаты, нитриды и карбонитриды (MnS , SiO_2 , TiN , $nFeO \cdot mMnO \cdot pSiO_2$ и др.). Оксиды и нитриды являются хрупкими и при прокатке стали располагаются в виде строчек или

рассредоточенных точечных частиц. Пластичные сульфиды получают форму продолговатых линз. Силикаты имеют сложный химический состав и могут быть пластичными или хрупкими.

После травления шлифа химическим реактивом различные структурные составляющие материала растворяются в разной степени, т.е. возникает некоторый рельеф поверхности (наличие выступающих и углубленных участков). На отдельных участках этого рельефа световые лучи отражаются в разной степени и участки поверхности шлифа видны в окуляр как светлые и темные различных оттенков.

Данные о фазовом строении и структуре материалов в равновесном состоянии получают из приведенных в учебниках и справочниках диаграмм состояния. Такие диаграммы состояния в координатах «температура - химический состав» содержат информацию о фазах (первичных составляющих микроструктуры), имеющих в отдельных областях диаграмм, разделенных сплошными линиями. Эти данные относятся к равновесному состоянию сплавов. Применительно к сталям и чугунам диаграмма состояния железо – углерод дана на рис. 4.

Метастабильная диаграмма состояния железо-углерод относится к случаю полной растворимости компонентов в жидком состоянии выше линии ликвидуса ABCD и ограниченной растворимости углерода в железе в твердом состоянии. У железа наблюдаются два полиморфных превращения:



Железо модификаций α и γ имеет соответственно кристаллические решетки объемноцентрированного куба (ОЦК) и гранецентрированного куба (ГЦК). В связи с наличием у железа полиморфных превращений на диаграмме состояния железо-углерод образуются три области твердых растворов углерода в железе:

- область NJESGN твердого раствора γ (аустенита А), т.е. раствора углерода в Fe_α (ГЦК);
- две области QPGQ и AHNA твердого раствора α (феррита Ф), т.е. раствора углерода в Fe_α (ОЦК).

В правой части метастабильной диаграммы состояния железо-углерод имеется узкая область DFKLD твердого раствора небольшого количества железа в химическом соединении Fe_3C , т.е. цементита Ц.

Следовательно, в сплавах метастабильной диаграммы состояния железо-углерод существуют следующие фазы: жидкий раствор углерода в железе, феррит, аустенит, цементит. Остальные области диаграммы состояния, ограниченные сплошными линиями, являются двухфазными, т.е. состоят из тех или иных двух фаз.

На диаграмме состояния имеются также горизонтальные линии трехфазных равновесий при постоянных температурах, где в равновесном состоянии существуют по три фазы:

- линия HJB перитектического превращения:

t_{HJB} →

$\text{ЖВ} + \text{Фн} \rightarrow \text{А}_J$

- линия ECF эвтектического превращения:

t_{ECF} →

$\text{Жс} \rightarrow (\text{Ас} + \text{Ц}_F)$ (эвтектика-ледебурит Л)

- линия PSK эвтектоидного превращения:

t_{PSK} →

$\text{А}_S \rightarrow (\text{Ф}_P + \text{Ц}_K)$ (эвтектоид - перлит П)

В сплавах железо – углерод – кремний в зависимости от количества углерода и кремния, численной величины скорости охлаждения существуют две разновидности диаграммы состояния железо-углерод: метастабильная (железо-цементит) и стабильная (железо - графит).

У сталей и чугунов в равновесном состоянии имеются следующие фазы:

Жидкий раствор (Ж) на основе железа.

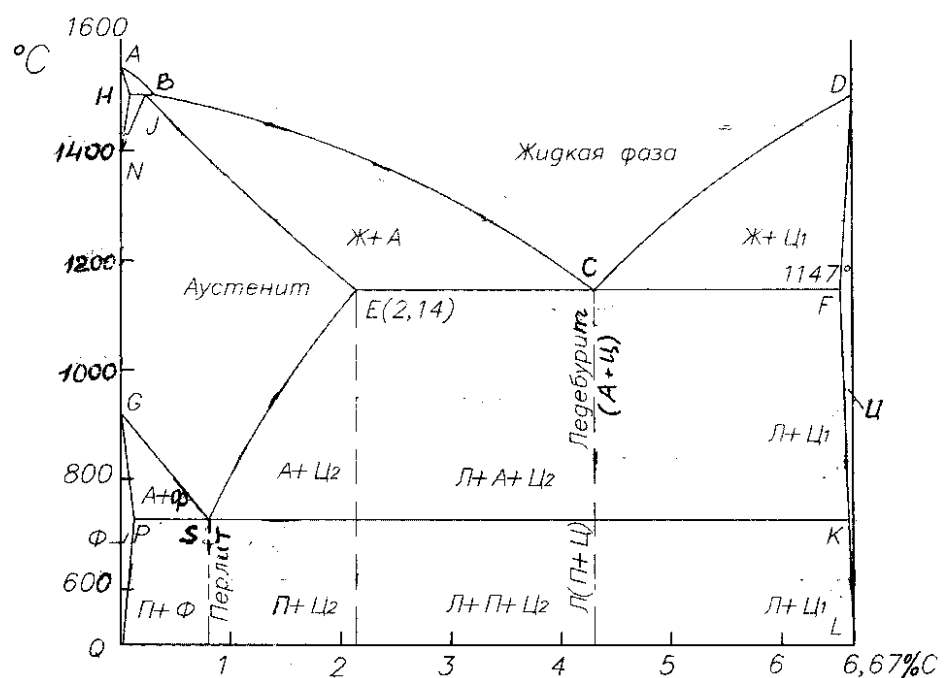
Феррит (Ф)- твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe_α с кристаллической решеткой объемно-центрированного куба (ОЦК). Феррит имеет твердость HB 80-90, пластичен (относительное удлинение 50 %).

Аустенит (А) - твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe_γ с кристаллической решеткой гранецентрированного куба (ГЦК).

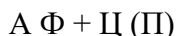
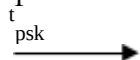
Цементит (Ц) - раствор небольшого количества железа в карбиде железа Fe_3C .

Образуются также и более сложные структурные составляющие из двух фаз, наблюдаемые в микроструктуре:

Рис. 4.
Диаграмма
состояния

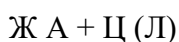
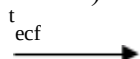


Перлит (П) в виде темных (коричневых) участков, состоящий из ферритной основы и кристаллов цементита пластинчатой формы (пластинчатый перлит). Он образуется при медленном охлаждении в сталях и чугунах в результате следующего фазового превращения аустенита:



Особой термической обработкой может быть получен зернистый перлит, состоящий из феррита и частиц цементита в форме мелких зерен.

Ледебурит (Л) в виде пестрых бело-темных участков, состоящий из белого цементита -основы и темного перлита в виде округлых или удлинённых частиц (ниже 727°C). Выше температуры 727°C этот ледебурит состоит из цементита и аустенита :



Многочисленные стали разных марок, отличающиеся химическим составом, по микроструктуре в равновесном состоянии разделяются на шесть основных структурных классов (табл. 5). Представление о структурных классах чугунов дает табл. 6 и структурная диаграмма на рис. 5. Формы включений графита показаны на рис. 6.

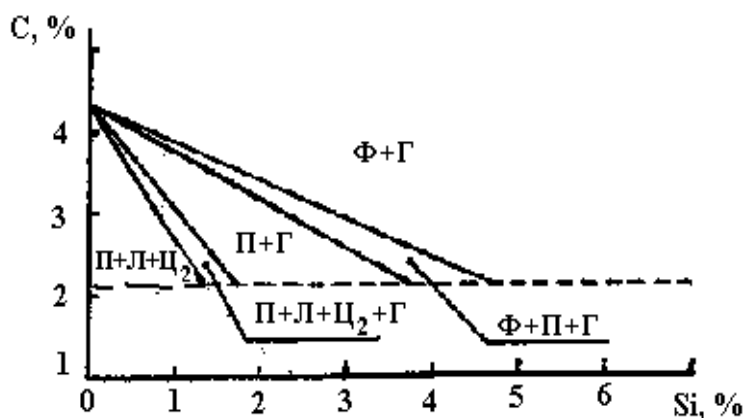


Рис. 5. Структурная диаграмма чугунов (толщина стенки отливки постоянная)

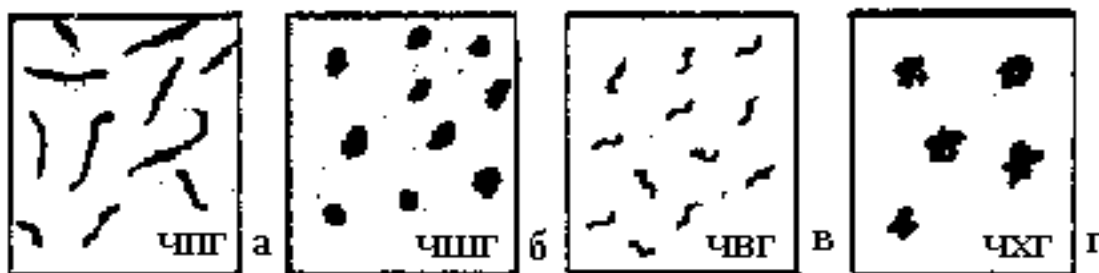


Рис. 6. Характерные геометрические формы включений графита в конструкционных чугунах (без травления шлифов): а - пластинчатая, б - шаровидная, в – вермикулярная, г - хлопьевидная (компактная).

Таблица 1. Структурные классы сталей в равновесном состоянии

Структурный класс стали	Химический состав		Микроструктура	Типовое применение в машиностроении
	Углерод С	Типичные легирующие элементы		

Доэвтектоидные стали				
Эвтектоидные стали				
Заэвтектоидные стали				
Стали карбидного (ледебуритного) класса				
Стали аустенитного класса				
Стали ферритного класса				

Контрольные вопросы:

1. Какими свойствами обладают чугуны?
2. Перечислите основные виды чугунов.
3. Чем обусловлено различие свойств серого и белого чугунов?
4. В чем состоит сущность изготовления высокопрочного чугуна?
5. Как маркируется серый чугун?
6. Какое влияние оказывает углерод на свойства стали?
7. Расскажи/е о влиянии серы и фосфора на свойства стали.
8. Расскажите о влиянии углерода и случайных примесей на свойства углеродистой стали.

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

13. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
14. Моряков О.С. Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
15. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Приложение

Пример заполнения

Таблицы 2.3. Структурные классы сталей в равновесном состоянии

Структурный класс стали	Химический состав		Микроструктура	Типовое применение в машиностроении
	Углерод C	Типичные легирующие элементы		
Дозвлектоидные стали	$C_p < C < C_s$	Cr, Mn, Ni и др.	Феррит + перлит	Конструкционные стали
Эвтектоидные стали	$C = C_s$	Cr, W, V и др.	Перлит	Инструментальные стали
Заэвтектоидные стали	$C_s < c < c_E$	Cr	Перлит и карбиды вторичные	Инструментальные стали
Стали карбидного (ледебуритного) класса	$C_E < c < 2,14\%$	Хром, вольфрам (до 6...12 %)	Перлит, карбиды первичные и вторичные	Инструментальные стали
Стали аустенитного класса	Десятые доли % и менее	Никель, марганец (до 13...20 %)	Аустенит легированный	Коррозионно-стойкие стали. Жаропрочные стали
Стали ферритного класса		Кремний, хром	Феррит легированный	Электротехнические стали. Кислотостойкие стали

Инструкция по практическому занятию № 6

Тема: Обоснование выбора марок сталей, применяемых для инструментов

Цель занятия:

- Освоить умения работы со справочной литературой по выбору марок стали и сплавов в зависимости от условий их работы;
- Освоить умения по выбору вида и режимов термической обработки сплавов в зависимости от назначения изделия;
- Освоить умения по обоснованию выбора материала для заданной детали.

Этапы задания:

1. Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней.
2. Выбрать марку материала для изготовления детали или инструмента, изучить ее состав и механические свойства.
3. Разработать в зависимости от условий работы детали, необходимый вид и режим термической или химико-термической обработки, начертить термический цикл обработки.
4. Дать обоснование выбора марки материала и вида термической обработки детали.

Теоретическая часть

Задание предусматривает: обосновать выбор материала для изготовления заданной детали и выбор вида и режима термической и химико-термической обработки, которая обеспечит надежность и работоспособность детали в условиях эксплуатации, указанных в задаче.

Для решения задачи необходимо прежде всего определить материал, обладающий свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

Если для улучшения свойств выбранного материала нужны термическая и химикотермическая обработка, то необходимо указать их режимы, получаемую структуру и свойства. При рекомендации режимов обработки необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы. Например, для деталей, изготавливаемых в массовом и крупносерийном производстве – обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.

Инструментальные стали для резания или горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т.е. обладать красностойкостью (теплостойкостью). Это свойство создается специальным легированием и термической обработкой. В связи с этим различают:

- *Нетеплостойкие* - сохраняющие высокую твердость (HRC 60) при нагреве не выше 190-225 °С и используемые для резания мягких металлов с небольшой скоростью, а также для деформирования в холодном состоянии. Это углеродистые и легированные стали (с относительно невысоким содержанием легирующих элементов). Карбидная фаза – цементит.

- *Полутеплостойкие* - преимущественно штамповые, рабочая кромка которых нагревается до 400-500 °С. Это стали легированные хромом и дополнительно вольфрамом, молибденом и ванадием. Карбидная фаза – легированный цементит и карбид хрома.
- *Теплостойкие* – для резания с повышенной скоростью. Нагрев рабочей кромки до 500-600°С (быстрорежущие стали). Штампа стали при повышенном нагреве до 600-800°С. Твердость HRC 60-62 у быстрорежущей стали после нагрева до 600-680°С и HRC 45-52 у штамповых при нагреве до 650-700°С.

Сплавы на основе цветных металлов обладают лучшими механическими и технологическими свойствами, чем чистые металлы, поэтому они широко применяются в промышленности.

Латунями называются сплавы меди с цинком, содержание цинка до 42%. Чтобы придать латунным сплавам лучшие механические и технологические свойства в них добавляют легирующие элементы: железо, никель, свинец, алюминий от 2-8%. Латунь подвергают рекристаллизационному отжиму при температуре 600-700°С для снятия наклепа, полученного в процессе холодной деформации.

Бронзы – сплавы меди с любыми элементами кроме цинка и никеля. Бронзы разделяют на простые и оловянистые и специальные – безоловянистые; литейные и деформируемые.

Алюминиевые сплавы обладают высокими механическими свойствами, небольшим удельным весом, устойчивые против коррозии. Различают две группы алюминиевых сплавов: литейные и деформируемые.

Магниевые сплавы представляют собой сплавы магния с алюминием, марганцем и цинком. Их широко применяют в промышленности как литейные, так и деформируемые.

Большое применение в промышленности, особенно в самолетостроении нашли сплавы титана, которые имеют сочетание высокой прочности и пластичности, малую плотность, хорошую жаропрочность, высокую коррозионную стойкость во многих агрессивных средах.

При решении задач рекомендуется использовать следующие пособия:

- Марочник сталей под редакцией Сорокина В.Г. М.: Машиностроение, 1989 г.
- Журавлёв В.И., Николаева О.Н. «Машиностроительные стали» 1992 г., справочник.
- Раскатов В.М и другие «Машиностроительные материалы» 1990 г., справочник.
- Арзамасов Б. М. и другие «Конструкционные материалы» 1990 г., справочник
- В.В. Васильев «Композиционные материалы» 1990 г., справочник.
- Справочник металлиста, том 2, под редакцией Рахштадта.
- Марочник сталей под редакцией Зубченко А.В., М.: Машиностроение, 2005.

- О.Е.Осинцев, В.Н. Фёдоров. Медь и медные сплавы, справочник, 2007г
- Ю.М. Зубарев. Современные инструментальные материалы, 2008г.
- Франценюк И. В., Франценюк Л. И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов.

Пример выполнения задания

Задание:

Подберите марку стали повышенной теплостойкости, пригодную для резания жаропрочной стали. Укажите ее состав, режимы термической обработки, схемы микроструктуры.

Решение:

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с резанием обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до HB 220-250). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов понижается. Вследствие этого теплота, выделяющаяся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно вырастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемые, малопригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости типа P12, сохраняющие высокую твердость (HRC-60) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615-620°C.

Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые стали сохраняют твердость HRC 60 после более высокого нагрева до 640-645°C. Кроме того, кобальт заметно повышает теплостойкость быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуру режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют высокую твердость – до HRC 68.

Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые сплавы марок P12Ф4К5 или P8М3К6С.

Химический состав сталей, %

Сталь C Cr W Mo V Co

P12Ф4К5 1,3 3,8 12,5 1 3,5 5,5

P8М3К6С 1,1 3,8 8 3,6 1,7 6

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей.

Закалка до 1240-1250°C (P12Ф4К5) и 1210-1220°C (P8М3К6С), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами. Более высокий нагрев недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15-30%) и

избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость HRC 60-62.

Затем инструменты опускают при 550-560⁰C (3 раза по 60 минут).

Отпуск:

а) вызывает выделение дисперсных карбидов мартенсита, что повышает твердость до HRC 66-69;

б) превышает мягкую составляющую – остаточный аустенит в мартенсит;

в) снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструмент шлифуют, а затем подвергают цианированию, чаще всего жидкому с выдержкой 15-30 мин. (в зависимости от сечения инструмента).

Твердость цианирования слоя на глубину 0,02-0,03мм достигает HRC 69-70. Цианирование повышает стойкость инструментов на 50-80%. После цианирования возможен кратковременный нагрев при 450-500⁰C с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает тогда синий цвет и несколько улучшает стойкость против воздушной коррозии.

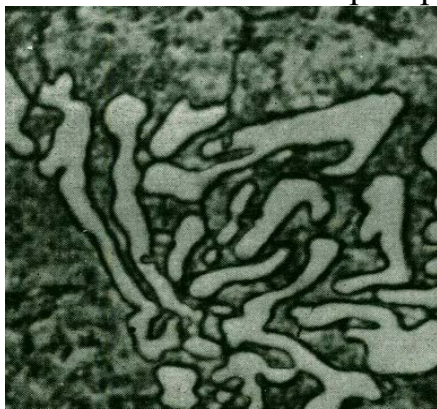
Термический цикл обработки:

$T^0C = 1250^0C$ -

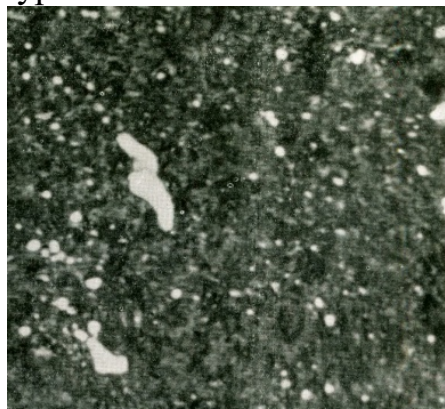
A_1 Закалка 550⁰C

3-х кратный отпуск цианирование Время

Микроструктура стали.



после отжига



после закалки и многократного отпуска

Варианты индивидуальных заданий:

1. Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35мм; сталь в готовом состоянии должна иметь предел текучести не ниже 290 мПа и ударную вязкость не ниже 50 мПа. Вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т.е. в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки, повышающей твердость в отдельных участках поверхности вала.

Зарисовать схему микроструктуры и твердость стали в поверхностном слое шейки вала и структуру и механические свойства в остальных участках вала.

2. Щеки и шары машин для дробления руды и камней работают в условиях повышенного износа, сопровождаемого ударами.

Подберите сталь для изготовления щек и шаров, учитывая, что они изготавливаются методом литья, должны иметь предел прочности не ниже 640 МПа и ударную вязкость при температуре +20 °С не ниже 260 Дж/см². Укажите химический состав, режимы термической обработки и свойства стали.

Зарисуйте схему микроструктуры.

3. Детали самолетов – педали, рычаги изготавливают из сплава с хорошими литейными свойствами, обладающие кроме того хорошей обрабатываемостью резанием. Предел прочности сплава не ниже 220 МПа. Рекомендуйте состав сплава, режимы термической обработки, укажите механические свойства в готовом изделии. Зарисуйте схему микроструктуры.

4. 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. Приведите схему микроструктуры.

5. Рессоры грузового автомобиля изготавливают из качественной ленованной стали, толщина рессоры до 10мм. Сталь должна иметь предел прочности не менее 1500 МПа и обладать высокими пределами выносливости и упругости. Подберите сталь, укажите ее состав, режимы термической обработки, свойства. Зарисуйте микросхему.

6. Необходимо изготовить шестерни из цветного сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Предел прочности не ниже 340МПа. Укажите марку сплава, его состав, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

7. Выбрать марку материала для изготовления фрезы, обрабатывающей нержавеющей стали. Теплостойкость до 630 °С. Укажите состав сплава, режимы его термической обработки, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

8. Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сниматься или выкрашиваться в процессе работы, поэтому оно должно иметь твердость в пределах HRC 50-55 на высоту не более 30-40мм, остальная часть топора не подвергается закалке. Укажите химический состав стали, режимы термической обработки, обеспечивающие данную твердость на лезвии топора. Зарисовать схему микроструктуры.

9. Сварные бензиновые и масляные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в самолетостроении из легких листов сплавов, обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и хорошей свариваемостью. Подберите сплав, укажите состав, механические свойства, зарисуйте схему микроструктуры.

10. Необходимо подобрать марку цветного сплава для пружинящего контакта, не дающего искры. Материал должен иметь предел прочности не ниже 1176 мПа и твердость не ниже НВ 400. Укажите состав, режимы термической обработки, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

11. Шар – баллон с толщиной стенки 30мм для сжатого воздуха изготавливается из поковок с помощью сварки. Должен иметь предел прочности не менее 900 мПа. Выбрать марку материала, режимы термической обработки. Указать состав стали, механические свойства и схему микроструктуры.

12. Выберите марку стали для изготовления продольной пилы по дереву, укажите режимы термической обработки, механические свойства готовой пилы, схему микроструктуры. Термическую обработку необходимо проводить таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы и обеспечить получение в стали высоких упругих свойств (пила должна пружинить).

13. Лопатки реактивных двигателей работают в окислительной среде при высоких температурах 720-850 °С. Металл должен обладать повышенной коррозионной стойкостью и прочностью при указанной температуре. Подберите материал для лопаток, укажите его состав, свойства, структуру, режимы термической обработки.

14. Лонжероны и шпангоуты самолетов изготавливают из легких сплавов высокой прочности. Подберите марку сплава, укажите химический состав, режимы термической обработки и механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

15. Сталь, применяемая для пароперегревателей котлов высокого давления должна сохранять повышенные механические свойства при длительных нагрузках при $T=500^{\circ}\text{C}$ и иметь достаточную пластичность для возможности гибки и завальцовки при сборке котла. Укажите состав стали, режимы термообработки, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла

«5» - 6 баллов;

«4» - 4-5 баллов

«3» - 3 баллов

«2» - < 3 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
2. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Интернет-ресурсы

1. <http://zubstom.ru/docs/index-3981.html> Практикум по учебной дисциплине «Материаловедение» - доступ свободный

Инструкция по практическому занятию № 7

Тема: Построение и анализ графика термической обработки

Цель занятия: изучить технологию термической обработки стали (закалка, отпуск, нормализация, отжиг) и познакомиться с закономерностями изменения твердости образцов стали в исходном состоянии и после термообработки.

Этапы занятия:

1. Покажите графический режим отжига для получения ферритного ковкого чугуна.
2. Опишите структурные превращения, происходящие в процессе отжига.
3. Постройте график, показывающий изменения сплава в процессе термической обработки.
4. Укажите характеристики механических свойств, приведите зарисовку микроструктуры.
5. Ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Термической обработкой называют технологические, процессы теплового воздействия, состоящие из нагрева, выдержки и охлаждения металлических изделий по определенным режимам с целью изменения структуры и свойств сплава. Любой процесс термической обработки может быть описан графиком в координатах температура - время (рис. 1). Параметрами процесса термической обработки являются максимальная температура нагрева ($t_{\max}$) сплава; время выдержки ($t_{\text{в}}$) сплава при температуре нагрева; скорость нагрева ($v_{\text{н}}$) и охлаждения ($v_{\text{о}}$). На практике обычно подсчитывают среднюю скорость нагрева или охлаждения. Она равна максимальной температуре нагрева, поделенной на время нагрева или охлаждения, т.е. $v_{\text{н.ср}} = t_{\max} / T_{\text{н}}$ и $v_{\text{о.ср}} = t_{\max} / T_{\text{о}}$.



Рис. 1. График термической обработки

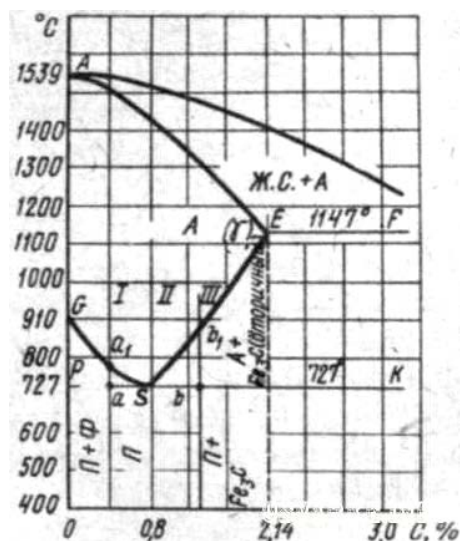


Рис. 2. «Стальной» участок диаграммы состояния железо-цементит: I - доэвтектоидная сталь, II - эвтектоидная сталь, III - заэвтектоидная сталь

Термическая обработка изменяет в нужном направлении прочностные, пластические и другие свойства материала изделий.

В основе теории термической обработки лежат фазовые и структурные превращения, протекающие при нагреве и охлаждении металлов и сплавов. Эти превращения характеризуются определенными критическими точками. При медленном нагреве от комнатной температуры до 727°C в сплаве I фазовых изменений не происходит (рис. 2). При температуре 727°C перлит превращается в аустенит (точка а). Точку **а** на диаграмме называют *нижней критической точкой* и обозначают A_{c1} (при охлаждении – A_{g1}). Буквы с и г указывают на то, что превращение происходит соответственно при нагреве или охлаждении стали, а индекс единица внизу этих букв - на точки, образующие линию PSK. При дальнейшем нагреве сплава I зерна феррита растворяются в аустените.

Растворение аустенита заканчивается в точке **а**, (линия GS), которую называют *верхней критической точкой* и обозначают при нагреве A_{c3} , охлаждении A_{g3} .

Если нагревать эвтектоидный сплав II, то перлит в точке S (линия PSK) при 727°C превращается в аустенит. Критические точки A_{c1} и A_{c3} при этом совпадают. Перлит сплава III при 727°C превращается в аустенит (точка b). Дальнейший нагрев сплава III вызывает растворение цементита (вторичного) в аустените. В точке **b1**, лежащей на линии SE, процесс растворения заканчивается. Эту точку обозначают A_{cm} .

Таким образом, на диаграмме железо-цементит критические точки, образующие линию PSK, обозначают A_{c1} (при нагреве) и A_{g1} (при охлаждении), точки по линии GS - A_{c3} и A_{g3} , по линии SE - A_{cm} . Знание критических точек облегчает изучение процессов термической обработки сталей.

Превращения в стали при нагреве. Нагрев стали при термической обработке используют для получения аустенита. Структура доэвтектоидной стали при нагреве ее до критической точки A_{c1} состоит из зерен перлита и феррита. В точке A_{c1} происходит превращение перлита в мелкозернистый аустенит. При дальнейшем нагреве от точки A_{c1} до A_{c3} избыточный феррит растворяется в аустените и в точке A_{c3} (линия GS) превращения заканчиваются. Выше точки A_{c3} структура стали состоит из аустенита.

Таким же образом происходят превращения при нагреве заэвтектоидной стали, но с той лишь разницей, что при дальнейшем повышении температуры от точки A_{c1} до точки A_{cm} в аустените начинает растворяться избыточный цементит (вторичный). Выше точки A_{cm} (линия SE) структура состоит только из аустенита. Вновь образовавшийся аустенит неоднороден даже в объеме одного зерна. В тех местах, где раньше были пластинки цементита, содержание углерода значительно больше, чем в тех местах, где находились пластинки феррита.

Для выравнивания химического состава и получения однородного аустенита доэвтектоидную сталь нагревают немного выше верхней критической точки A_{c3} и выдерживают некоторое время при этой температуре для завершения диффузионных процессов

По окончании процесса превращения перлита в аустенит образуется большое количество мелких аустенитных зерен. Эти зерна называют *начальными зернами аустенита*.

Дальнейший нагрев стали или увеличение выдержки приводит к росту аустенитного зерна. Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной термической обработки, называют *действительным зерном*. Величина такого зерна зависит не только от термической обработки, но и от способа выплавки стали. Однако склонность к росту аустенитных зерен с повышением температуры нагрева различная. Стали, раскисленные в процессе плавки кремнием и марганцем, обладают большой склонностью к непрерывному росту зерен аустенита при повышении температуры. Такие стали называют *наследственнокрупнозернистыми*. К ним относят кипящие стали.

Стали, раскисляемые в процессе выплавки дополнительно алюминием и в особенности легированные титаном или ванадием, мало склонны к росту зерна аустенита при нагреве до 950-1000°C. Такие стали называют *наследственномелкозернистыми*. К ним относят спокойные стали.

Размер наследственного зерна не оказывает влияния на свойства стали. От размера действительного зерна зависят механические свойства стали, главным образом ударная вязкость, она значительно понижается с увеличением размера зерна. Размер действительного зерна в стали зависит от размера зерна аустенита. Как правило, чем крупнее зерна аустенита, тем крупнее действительные зерна.

Размер наследственного зерна оказывает влияние на технологические свойства стали. Если сталь наследственно мелкозернистая, то ее можно нагревать до более высокой температуры и выдерживать при ней более

длительное время, не опасаясь чрезмерного роста зерна по сравнению с наследственно крупнозернистой сталью. Горячую обработку давлением - прокатку, ковку, объемную штамповку наследственно мелкозернистой стали - можно начинать и оканчивать при более высокой температуре, не опасаясь получения крупнозернистой структуры.

Для определения размера наследственного (аустенитного) зерна применяют различные методы. Например, для низкоуглеродистых цементуемых сталей применяют метод цементации, т. е. науглероживание поверхности стали. При нагреве стали до $930 \pm 10^\circ\text{C}$ в углеродсодержащей смеси и выдержке при данной температуре в течение 8 ч поверхностный слой ее насыщается углеродом до заэвтектоидного состава. При охлаждении из аустенита выделяется избыточный цементит, который располагается по границам зерен аустенита в виде сетки. После полного охлаждения эта цементитная сетка окружает зерна перлита и показывает размер бывшего при нагреве аустенитного зерна. Подготовленную таким образом структуру стали рассматривают в микроскоп при $100\times$ увеличении, видимые под микроскопом зерна сравнивают с эталонными, предусмотренными стандартной шкалой размеров зерна (рис. 3). Зерна от № 1 до № 4 считают крупными, а с № 5 - мелкими.

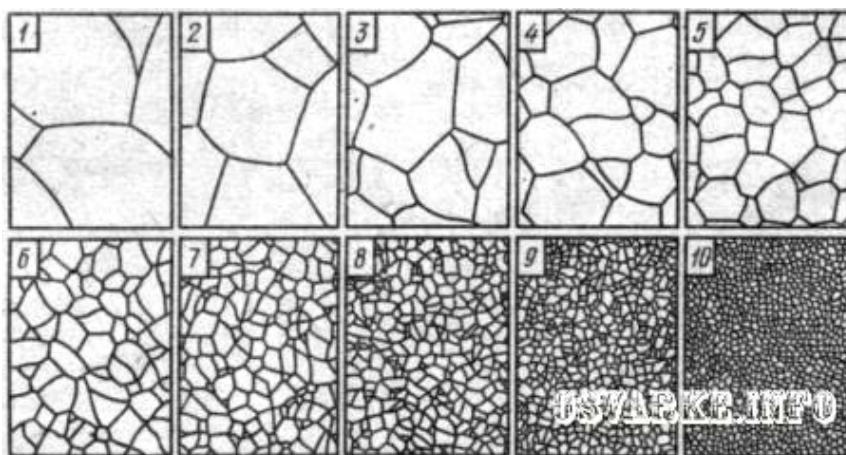


Рис. 3. Шкала для определения размера зерен:
1-10 – номера зерен при $100\times$ увеличении

Превращения в стали при охлаждении. Аустенит является устойчивым только при температуре выше 727°C (точка A_{r1}). При охлаждении стали, предварительно нагретой до аустенитного состояния (ниже точки A_{r1}), аустенит становится неустойчивым - начинается его превращение. Такое превращение может начаться только лишь при некотором переохлаждении аустенита. Для случая эвтектоидной углеродистой стали аустенит превратится в перлит, т. е. в механическую смесь феррита и цементита. При этом, с одной стороны, чем ниже температура превращения, тем больше переохлаждение и тем быстрее будет происходить превращение аустенита в перлит. С другой стороны, это превращение сопровождается диффузионным перераспределением углерода и чем ниже температура переохлаждения, тем медленнее протекает процесс диффузии, что в свою очередь замедляет

превращение аустенита в перлит. Такое противоположное действие обоих названных факторов (переохлаждения и диффузии) приводит к тому, что вначале с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, достигая при определенной величине переохлаждения максимума, а затем убывает.

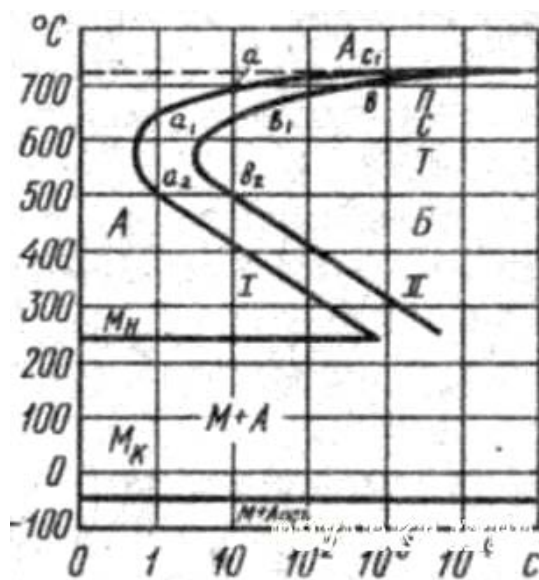


Рис. 4. Диаграмма изотермического превращения эвтектоидной стали:
А – аустенит, П – перлит, С – сорбит, Т – троостит, Б – бейнит, М – мартенсит

Процесс превращения аустенита в перлит экспериментально проводят при постоянной температуре, т. е. в изотермических условиях. Для этого образцы из стали нагревают до температуры, при которой ее структура состоит из однородного аустенита, а затем быстро переносят в термостаты с заданной температурой.

Превращение аустенита при постоянной температуре обобщается и изображается наглядно в виде диаграммы изотермического превращения (рис. 4). Эта диаграмма строится на основе исследований при постоянных температурах (700, 650, 550°C и т. д.). По горизонтальной оси диаграммы наносят время в логарифмической шкале: 1, 10, 100, 1000, 10 000 и 100 000 с. Это дает возможность проследить превращения, протекающие за промежуток от долей секунды до суток и более. По вертикальной оси откладывают температуру. Далее на диаграмме проводят жирные С-образные линии, отвечающие полученным экспериментальным путем точкам изотермического превращения аустенита. В этой стали распад аустенита происходит в интервале температур от A_{c1} до M_N . Левая кривая I соответствует началу, а правая кривая II – окончанию распада аустенита.

Стальной образец охлаждают до 700°C и выдерживают его при этой температуре. В течение некоторого промежутка времени до точки а (пересечение горизонтали, соответствующей 700°C с кривой I) в аустените превращений не происходит. Этот период времени называют *инкубационным*.

На диаграмме изотермического превращения в зависимости от степени переохлаждения различают три температурные области превращения: перлитную, бейнитную и мартенситную. В точке а начинается *перлитное превращение*. Диффузионный распад аустенита продолжается до точки б (пересечение горизонтали 700°С с кривой II), где происходит превращение аустенита в перлит. Перлит образуется при распаде аустенита при малых степенях переохлаждения в области температур от A_{c1} до 650°С. Твердость перлита НВ 160. Если охлаждать образец до 650°С, т. е. до точек начала а₁ и конца б₁распада аустенита, то инкубационный период и период распада аустенита уменьшаются, в результате чего образуется структура сорбит.

Перлитом (рис. 34, а) называют механическую смесь кристаллов феррита и цементита; сорбитом (рис. 34, б) - более мелкую (дисперсную), чем перлит, механическую смесь феррита и цементита. Сталь, в которой преобладает структура сорбита, обладает высокой прочностью и пластичностью.

При охлаждении образца до 500°С, до точек распада а₂ и б₂, аустенит превращается в троостит. Троостит (рис. 34, в) представляет собой очень тонкую смесь феррита и цементита; отличается от перлита и сорбита очень высокой степенью дисперсности составляющих. Сталь со структурой троостита обладает повышенной твердостью (НВ 330-400), достаточной прочностью, умеренной вязкостью и пластичностью.

Таким образом, основным фактором, определяющим структуру и свойства аустенита, является температура превращения. Если на С-образную кривую нанести лучи (термические линии охлаждения), то получим следующую схему (рис. 35). При медленном охлаждении образца луч v_1 , пересечет кривые I и II в точках а₁ и б₁. При этих температурах происходит превращение аустенита в перлит.

При большей скорости охлаждения луч v_2 пересечет кривые в точках а₂ и б₂ и аустенит полностью превратится в сорбит. При еще больших скоростях охлаждения луч v_3 проходит через точки а₃ и б₃ и образуется новая структура - троостит.

Далее по мере ускорения процесса охлаждения лучи будут все круче (линии v_4 и v_5) и первое превращение аустенита в троостит не успеет закончиться. Оставшаяся часть переохлажденного аустенита (точки а₄ и а₅) начнет превращаться в троостит с мартенситом.

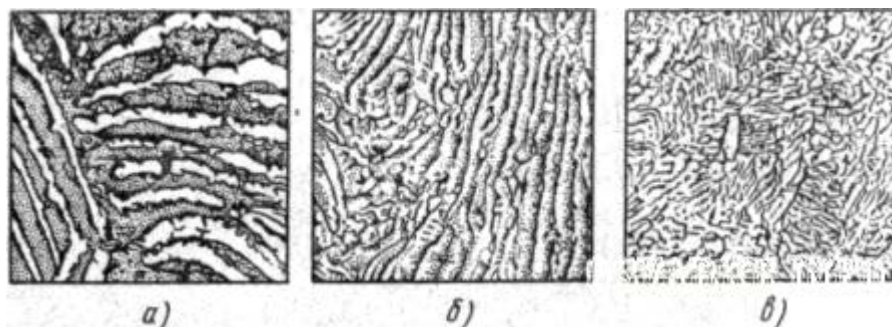


Рис. 5. Микроструктура перлита (а), сорбита (б), троостита (в) при 7500^x увеличении

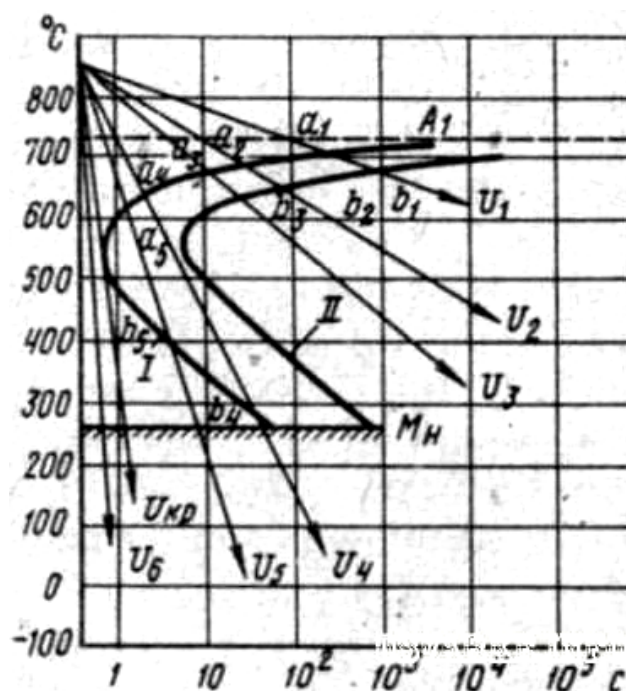


Рис. 6. Кривые охлаждения стали на диаграмме изотермического распада аустенита

Наконец, при наибольших скоростях охлаждения, когда луч $v_{кр}$ касается кривой I (начала распада аустенита) и пересекает горизонталь M_n , в стали получается только *мартенсит*. Скорость охлаждения, при которой в закаливаемой стали из аустенита образуется только мартенсит, называют *критической скоростью закали*. Чтобы закалить сталь, ее охлаждают со скоростью, не меньшей, чем критическая (например, v_6).

Мартенситное превращение в отличие от перлитного имеет бездиффузионный характер. Мартенсит является основной структурой закаленной стали. Он имеет высокую твердость, зависящую от содержания углерода в стали. Чем больше содержится углерода в мартенсите, тем выше твердость стали. Так, например, для стали с содержанием 0,4% углерода твердость мартенсита составляет HRC 52-54, а для стали с содержанием углерода 1,0% - HRC 62-64. Мартенсит имеет совершенно отличную от других структур природу. При резком переохлаждении углерод не успевает выделиться из твердого раствора (аустенита) в виде частичек цементита, как это происходит при образовании перлита, сорбита и троостита. В этом случае происходит только перестройка решетки γ -железа в решетку α -железо. Атомы углерода остаются в решетке α -железа (мартенсите) и поэтому сильно ее искажают.

Такую искаженную кристаллическую решетку называют тетрагональной (рис. 7), в которой один параметр c больше другого a и, следовательно, отношение параметров $c/a > 1$. Степень искаженности (тетрагональности) зависит от содержания углерода в стали: она тем выше, чем больше углерода в стали. Следовательно, мартенсит представляет собой твердый раствор углерода в α -железе, которое способно растворять очень небольшое количество углерода (до 0,02%), а в мартенсите углерода столько,

сколько его содержится в аустените этой стали, поэтому мартенсит является α -твердым раствором, перенасыщенным углеродом.

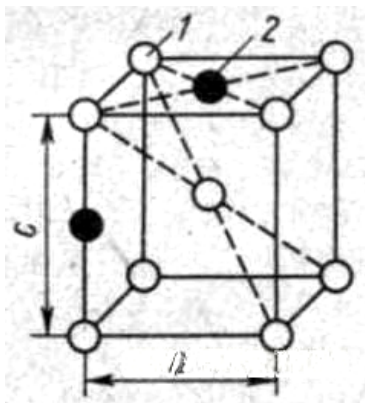


Рис. 7. Кристаллическая ячейка мартенсита: 1 – атомы железа, 2 – атомы углерода

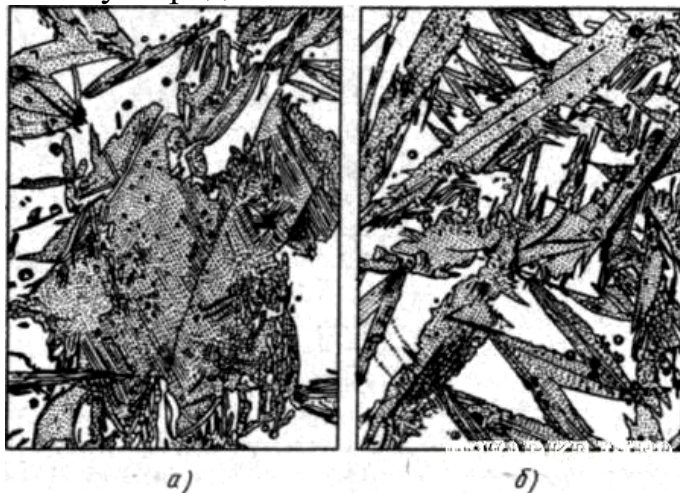


Рис. 8. Микроструктура мартенсита при 1000^x увеличении

Мартенсит имеет характерное игольчатое строение (рис. 37, а). Чем мельче зерна аустенита, тем мельче получаются иглы мартенсита (рис. 8, б). Такая структура характерна для правильно закаленной стали.

Для *аустенитно-мартенситного превращения* характерно то, что оно происходит в интервале температур. Начинается превращение при температуре M_n , а заканчивается при более низкой температуре M_k (рис. 39). Чем больше в стали углерода, тем ниже температура точек M_n и M_k . При содержании углерода более 0,6% мартенситное превращение оканчивается при температурах ниже нуля. Поэтому, для того, чтобы в высокоуглеродистых сталях получить большее количество мартенсита, их следует охлаждать до температур ниже нуля. Однако при температуре конца мартенситного превращения (точка M_k) не происходит полного образования мартенсита. Аустенит A частично остается не превращенным в мартенсит и называется *остаточным аустенитом*. В конструкционных углеродистых сталях остаточный аустенит составляет ~5%. Закаленные высокоуглеродистые стали содержат большее количество остаточного аустенита - до 12%.

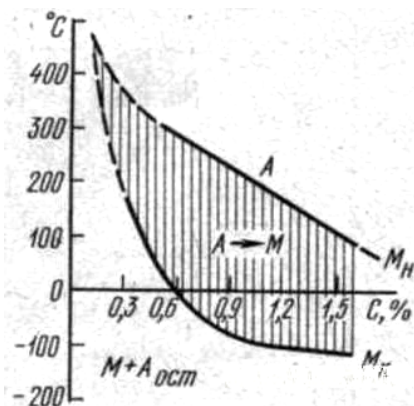


Рис. 9. Влияние содержания углерода на температуру начала и конца мартенситного превращения

При аустенитно-мартенситном превращении изменяется объем образующихся структур. Максимальный объем имеет структура мартенсита, меньший объем - структура троостита, еще меньший - сорбита и перлита и самый минимальный объем имеет структура аустенита.

Бейнитное (промежуточное) превращение при изотермической выдержке углеродистых сталей происходит в интервале температур ~500-250°C с образованием структуры, называемой *бейнитом*. Это превращение характеризуется сочетанием как перлитного (диффузионного), так и мартенситного (бездиффузионного) превращения. Начинается бейнитное превращение с перераспределения углерода в аустените. Благодаря этому в аустените образуются обогащенные и обедненные углеродом участки. Цементит выделяется в участках, обогащенных углеродом, в результате чего образуются участки аустенита, обедненные углеродом. В этих участках, а также в уже имеющихся участках, обедненных углеродом, идет мартенситное превращение, а затем распад цементита, в результате чего образуется ферритоцементитная смесь.

При температуре изотермической выдержки более 350°C образуется верхний бейнит (~НВ 450) с перистым строением, напоминающим строение перлита, при температуре изотермической выдержки менее 350°C образуется нижний бейнит (~НВ 550), имеющий игольчатое строение, похожее на строение мартенсита.

Контрольные вопросы:

1. Расскажите о превращениях, происходящих в стали при ее нагреве и охлаждении.
2. Что представляет собой мартенситная структура закаленной стали?
3. Назовите основные виды термической обработки.

Критерии оценки:
уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

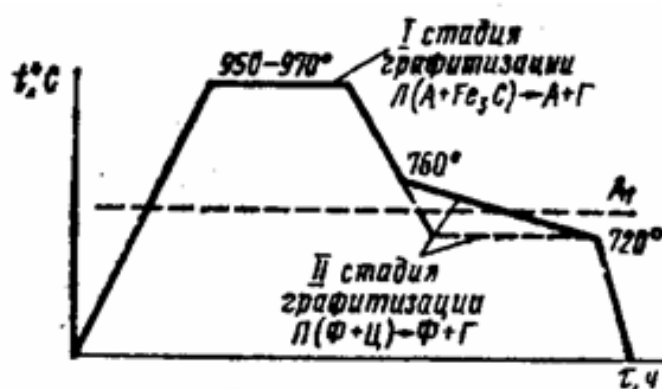
«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
2. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Пример построения графика



Инструкция по практическому занятию № 8

Тема: Построение графика химико-термической обработки и последующей обработки детали

Цель занятия: выбрать и обосновать режим термической обработки для конкретного сплава и построить график химико-термической обработки.

Этапы занятия:

1. Ознакомиться с теоретической частью.
2. Исходные данные по вариантам в таблице 1.
3. Решение задачи по образцу задачи 1.
4. Построение графика термической и химико-термической обработки.

Теоретическая часть

Химико-термическая обработка – процесс химического и термического воздействия на поверхностный слой стали с целью изменения состава, структуры и свойств. Химико-термическая обработка повышает твердость поверхности стали, ее износостойкость, коррозионную стойкость, кислотоустойчивость и другие свойства. Химико-термическая обработка нашла широкое применение в машиностроении, так как является одним из

наиболее эффективных методов упрочнения стальных деталей для повышения их долговечности.

Химико-термической обработке можно подвергать различные по размерам и форме детали и получать обработанный слой одинаковой толщины. При химико-термической обработке за счет изменения химического состава поверхностного слоя достигается большое различие свойств поверхности и сердцевины детали. Недостатком процессов химико-термической обработки является их малая производительность.

Химико-термическая обработка основана на диффузии атомов различных химических элементов в кристаллическую решетку железа при нагреве в среде, содержащей эти элементы. Химико-термическая обработка состоит из трех процессов: диссоциации - получения насыщающего элемента в активном атомарном состоянии: $2\text{NH}_3 \leftrightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$, $\text{CH}_4 \leftrightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$ и т. д.; абсорбции - поглощения активных атомов насыщающего элемента поверхностью металла; диффузии - перемещения атомов насыщающего элемента с поверхности в глубь металла.

Необходимо, чтобы скорости всех трех процессов были обязательно согласованы, а для абсорбции и диффузии требуется, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя либо твердые растворы, либо химические соединения. Химико-термическая обработка невозможна, если основной металл и насыщающий элемент образуют механические смеси. Глубина проникновения диффундирующего элемента зависит от температуры и продолжительности насыщения, а также от состава стали, главным образом наличия легирующих элементов.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки является цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом), цианирование (углеродом и азотом), борирование (бором), алитирование (алюминием) и др.

Цементация - процесс химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя углеродом при нагреве в соответствующей среде. Цементация придает поверхностному слою высокую твердость и износостойкость, повышает предел выносливости при изгибе и кручении. Цементируют детали, работающие в условиях трения, при больших давлениях и циклических нагрузках шестерни, поршневые пальцы, распределительные валы и др.

Для цементации используют низкоуглеродистые стали (0,1-0,3% С), т. е. стали марок 10, 15, 20, А12, А20, Ст3, 15Х, 25ХГМ и др. При цементации содержание углерода в поверхностном слое доводят до 1% (рис. 1). Толщина (глубина) цементованного слоя составляет 0,5-2,5 мм. Для углеродистых сталей глубиной цементации условно считают расстояние от поверхности детали до половины зоны, в структуре которой наряду с перлитом содержится примерно такое же количество феррита.



Рис. 1. Изменение концентрации (%) углерода в цементованном поверхностном слое.

При цементации деталь нагревают без доступа воздуха до 930-950°C в науглероживающей среде (твердой, жидкой или газообразной), выдерживают при этой температуре в течение нескольких часов, а затем медленно охлаждают. После этого ее подвергают нормализации, закалке и отпуску.

Науглероживающей средой служат твердые карбюризаторы (мелкий древесный уголь в смеси с углекислым барием), жидкие соляные ванны (смесь поваренной соли, углекислого натрия, цианистого натрия и хлористого бария) и газы, содержащие углерод (природный, светильный и др.).

Цементованные детали подвергают закалке (820-850°C) и низкому отпуску (150-170°C). После термической обработки структура поверхностного слоя представляет собой мартенсит или мартенсит с небольшим количеством карбидов с твердостью HRC 60-64.

Структура сердцевины деталей из углеродистых сталей - феррит, перлит, а из легированных сталей - низкоуглеродистый мартенсит, троостит или сорбит с твердостью HRC 20-40 в зависимости от марки стали и размеров детали.

Азотирование - процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя азотом для придания этому слою высокой твердости, износостойкости или устойчивости против коррозии.

Твердость азотированного слоя выше, чем цементованного, и сохраняется до высоких температур 400-600°C, тогда как твердость цементованного слоя с мартенситной структурой сохраняется лишь до 200-250°C. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие алюминий, хром, титан, например 35ХМЮА, 40Х, 18ХГТ, 40ХНМА и др.

Перед азотированием улучшают механические свойства деталей, подвергая их закалке и высокому отпуску. Толщина азотированного слоя составляет 0,2-0,6 мм. Азотированный слой хорошо шлифуется и полируется. Азотированию подвергают детали автомобилей (шестерни, коленчатые валы), а также штампы, пресс-формы и др. Азотирование приводит к небольшому увеличению размеров. Поэтому после азотирования детали подвергают окончательному шлифованию (например, повторно шлифуют шейки коленчатых валов) со снятием слоя 0,02-0,03 мм. Азотирование обычно проводят в среде аммиака при температуре 500-600°C. Аммиак разлагается с выделением активного азота в атомарном состоянии: $2\text{NH}_3 \leftrightarrow 2\text{N} + 6\text{H}$. При этих температурах в герметически закрытом муфеле,

вставленном в печь, азот внедряется в поверхностный слой стали и вступает в химическое взаимодействие с легирующими элементами, образуя нитриды хрома, молибдена, вольфрама и др. Нитриды легирующих элементов повышают твердость стали до HRC 70. Обычные конструкционные стали после азотирования имеют меньшую твердость, а твердость углеродистых сталей совсем невысока, так как в них не образуются специальные нитриды. Поэтому углеродистые стали подвергают только антикоррозионному азотированию.

Процесс азотирования длительный: до 24-60 ч при 500-520°C. Длительность процесса можно сократить двухступенчатым азотированием. Сначала температуру поддерживают на уровне 500-520°C, а заканчивают процесс при 560-600°C. Повышение температуры, ускоряя диффузию, уменьшает время образования слоя требуемой толщины, не вызывая снижения поверхностной твердости.

Для сокращения длительности азотирования в 2-3 раза используют ионное азотирование. Процесс проводят в разреженной азотосодержащей атмосфере (NH_3 или N_2) при подключении обрабатываемой детали к отрицательному электроду - катоду. Анодом служит контейнер установки. Между деталью и контейнером возбуждается тлеющий разряд, в котором ионы газа бомбардируют поверхность детали. Продолжительность ионного азотирования от 1 до 24 ч.

Азотирование в жидких средах проводят при 540-590°C в расплавленных цианистых солях в течение 0,5-3 ч. При общей толщине азотированного слоя 0,15-0,5 мм на поверхности образуется тонкий (7-15 мкм) карбонитридный слой, обладающий высоким сопротивлением износу.

Нитроцементация - процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя одновременно азотом и углеродом в газовой среде. Основой газовой среды служит эндотермический газ (эндогаз), состоящий из азота (40%), водорода (40%) и окиси углерода (20%). При нитроцементации детали нагревают до 850-870°C в среде эндогаза с добавлением природного газа (5-15%) и аммиака (5%) и выдерживают в течение 4-10 ч. Глубина нитроцементованного слоя 0,2-0,8 мм. Она зависит от температуры процесса и времени выдержки. С повышением температуры содержание азота в слое уменьшается, а углерода - до определенной температуры возрастает, а затем несколько уменьшается.

После нитроцементации детали подвергают закалке и низкому отпуску при 160-180°C до твердости HRC 58-64.

Нитроцементуют детали сложной формы, подвергающиеся износу (зубчатые колеса), склонные к короблению. Нитроцементация имеет существенные преимущества перед газовой цементацией благодаря более низкой температуре процесса (на 70-90°C) и меньшей толщине слоя, что обеспечивает меньшие деформации и коробление детали. Нитроцементацию широко применяют в автомобильном и тракторном производстве. Так, на ВАЗе до 20% деталей, проходящих химико-термическую обработку, нитроцементуют

Задача 1. Копиры должны иметь минимальную деформацию и высокую износостойкость (твердость поверхностного слоя HV 750-1000). Для их изготовления выбрана сталь 38ХМФА. Укажите состав и определите, к какой группе по назначению относится данная сталь. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической и химико-термической обработки.

Сталь 38ХМФА является легированной конструкционной высококачественной сталью с содержанием углерода в среднем до 0,38%, хрома до 1,5 %, молибдена – до 1,5 % , ванадия до 1,5%. Химический состав и механические свойства стали 38ХМФА приведены в таблицах 2.1 и 2.2

Таблица 2.1 – Химический состав стали 38ХМФА ГОСТ4543-8

Сталь	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
38 ХМФА	0,35-0,42	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	0,20-0,30	0,08-0,14

Таблица 2.2- Механические свойства стали 38ХМФА ГОСТ4543-95

Сталь	Температура ,°C		σ _т	σ _т	δ,	Ψ,	КСУ, Дж/см ²	НВ после отжига (не более)
	закалка	отпуск	МПа		%			
38ХМФА	930	640	830	980	14	50	88	229

Технологический процесс изготовления копиров при применении азотирования состоит из следующих этапов:

- 1) предварительная термическая обработка копиров;
- 2) механическая обработка детали, включая шлифование;
- 3) азотирование;

Сталь 38ХМФА с содержанием углерода 0,35-0,42% относится к группе улучшаемых износостойких сталей и воспринимает закалку и высокий отпуск.

Закалка стали заключается в нагреве до температуры на 30-50°C выше точки A_{c3} (851°C), выдержке при этой температуре и последующем охлаждении в масле. После закалки для снятия внутренних напряжений и сохранения прочности назначается высокотемпературный отпуск.

Желаемая структура закалки - *мартенсит*.

Копиры из стали 38ХМФА подвергаются закалке от температуры 920°C до комнатной температуры в масле с последующим отпуском при 500°C в течение 2 часов. Структура высокотемпературного отпуска – сорбит.

После этого копиры подвергаются высокому отпуску при температурах 500°C и 650°C в течение 10 часов для снятия внутренних напряжений. Затем поверхность шлифуется для доведения до точного размера и удаления обезуглероженного слоя.

Непосредственно перед азотированием образцы зачищаются на тонкой шкурке и обезжириваются.

Для обеспечения минимальной деформации и высокой износостойкости (HV 750-1000) для стали 38 ХМФА перлитного класса назначаем азотирование.

Азотирование стали — насыщение поверхности стальных деталей азотом для повышения твердости, износоустойчивости и коррозионной стойкости. Для азотирования нагревают детали при 480—650°C в атмосфере диссоциированного аммиака, при этом образуется атомарный азот, который поглощается поверхностью стальных деталей с образованием твердого раствора азота в матрице металла, нитридов железа и нитридов легирующих элементов.

Высокая твердость азотированного слоя объясняется также и большой растворимостью азота в феррите, легированном переходными элементами. Растворенный азот приводит к возникновению высоких микронапряжений, релаксация которых ниже порога рекристаллизации затруднена. При последующем охлаждении фиксируется перенасыщенный азотом твердый раствор, склонный к старению. Старение в процессе охлаждения приводит к выделению из твердого раствора легированной γ' -фазы и нитридов легирующих элементов, добавочно повышающих твердость.

В исходном состоянии структура азотированного слоя состоит из слоя нитридов железа, представленных преимущественно ϵ – Fe_2N и диффузионной зоной, состоящей из легированного азотом α -твердого раствора и нитридов легирующих элементов.

Легированные стали с содержанием хрома, молибдена и ванадия после азотирования имеют поверхностную твердость HV 850—1200 . Это достигается за счет образования мелкодисперсных нитридов на поверхности детали (химических соединений азота с элементами VN, GrN, Cr_2N , MoN).

Все легирующие элементы уменьшают толщину азотированного слоя, но резко повышают твердость на поверхности и по сечению диффузионного слоя. Азотистая ϵ -фаза в большинстве случаев имеет пониженную твердость. Высокая твердость зоны внутреннего азотирования, составляющей основную часть слоя, связана с образованием азотистого твердого раствора и выделением нитридов легирующих элементов, искажающих решетку матрицы и затрудняющих пластическую деформацию.

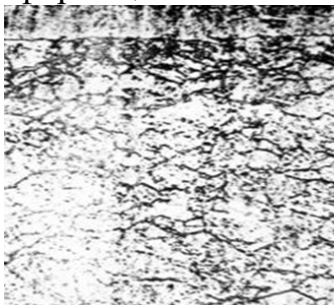


Рисунок 2- Микроструктура азотированной стали 38ХМФА

Индивидуальное задание

Таблица 1.Варианты индивидуальных заданий

№	Вопросы для индивидуального задания
---	-------------------------------------

вар.	
1.	Как проводят цементацию в твердом карбюризаторе?
2	Как проводят и какие преимущества газовой цементации?
3	Чем различается цементация и нитроцементации
4	Дайте характеристику и опишите основные этапы процесса алитирования
5	Что такое процесс азотирования и зачем его проводят?
6	Дайте характеристику и опишите основные этапы процесса хромирования
7	Дайте характеристику и опишите основные этапы процесса борирования
8	Опишите процесс термической обработки, которая проводится после процесса цементации
9	Что представляет собой диффузионное насыщение поверхности кремнием?
10	В чем заключается процесс цианирования стали?
11	Что представляет собой процесс цинкования стали?
12	В чем заключается процесс цементации в газовой среде?
13	В чем заключается процесс цементации в твердом карбюризаторе?
14	Что представляет собой технология нитроцементации?
15	Чем отличается азотирование от нитроцементации?
16	Что представляет собой процесс диффузионной металлизации?
17	Чем отличается процесс цинкования от процесса цианирования?
18	Цементация: виды, и методы проведения
19	Азотирование: виды и методы проведения.
20	Диффузионная металлизация: виды и методы проведения
21	Нитроцементация: методы проведения, характеристика
22	Цианирование: методы проведения, характеристика
23	Дайте отличия газовой цементации от цементации в твердом карбюризаторе
24	Характеристика низкотемпературного газового цианирования
25	Характеристика высокотемпературного газового цианирования

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
2. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Инструкция

по практическому занятию № 9

Тема: Сравнение эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов Д16 и В95

Цель занятия: изучение характеристик, свойств, способов термообработки и областей применения алюминиевых сплавов.

Этапы занятия:

1. Ознакомиться с теоретической частью практического занятия.
2. Заполнить таблицу 1.
3. Ответить на контрольные вопросы

Теоретическая часть

Алюминиевый сплав В95

В95 - это высокопрочный термоупрочняемый сплав алюминия с цинком, магнием и медью. Это самый прочный из наиболее известных сплавов алюминия. Он применяется для высоконагруженных конструкций, работающих под большим давлением на сжатие. Сплав обладает высокой твёрдостью и прочностью в виду образования твёрдых кристаллических образований в нём. Высокая твёрдость сказывается на его пластичности, поэтому В95 плохо переносит надрезы.

Под высоким точечным напряжением В95 проявляет склонность к коррозии. В различных направлениях при поперечном и продольном приложении усилий материал склонен проявлять различные механические свойства (анизотропию). В95 обладает достаточной коррозионной стойкостью в обычных условиях, кроме как под большой точечной нагрузкой. Но в естественно состаренном состоянии антикоррозионные свойства проявляются плохо, поэтому в большинстве случаев используется сплав искусственно состаренный — В95Т1.

Высокопрочный сплав алюминия В95 хорошо обрабатывается резанием. Он не сваривается аргонодуговой сваркой, но подлежит только контактной сварке. А при высоких температурах его прочность начинает

падать, поэтому вместо него часто применяют дюралюминий и жаропрочные сплавы. Кроме того, он обладает худшими конструктивными свойствами, чем дюралюминий.

Свойства материала В95

Химический состав В95 описан в ГОСТ 4784-97. Добавлением марганца делает сплав более прочным и делает структуру сплава более плотной.

Химический состав в % материала В95

Fe	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
до 0.5	до 0.5	0.2 - 0.6	до 0.1	0.1 - 0.25	до 0.05	86.3 - 91.5	1.4 - 2	1.8 - 2.8	5 - 7	прочие, каждая 0.05; всего 0.1

Примечание: Al - основа; процентное содержание Al дано приблизительно

Механические свойства этого материала деградируют при температуре свыше 120 °С.

марка	твёрдость, НВ			электропроводность в % по отношению к меди			теплопроводность в кал/°С		
	М	Н2	Н, Т(Т1)	М	Н2	Н, Т(Т1)	М	Н2	Н, Т(Т1)
А8 - АД0	25		35	60			0.52		
АМц	30	40	55	50	40		0.45	0.38	
АМг2	45	60		35		30	0.34		0.30
АМг5	70			30			0.28		
АД31			80	55		55	0.45		
Д16	45		105	45		30	0.42		0.28
В95			150			30			0.28

Физические свойства материала В95 .

Т	$E \cdot 10^{-5}$	$\alpha \cdot 10^{-6}$	λ	ρ	C	$R \cdot 10^{-9}$
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	0.74			2850		
100		23.2				

Механические свойства при T=20°C материала В95 .

Сортамент	Размер	Напр.	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ_5	ψ	КСУ	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Трубы, ГОСТ 18482-79			490-510	375-400	5-7			
Пруток, ГОСТ 21488-97			490-530	390-420	4-6			Закалка и искусственное старение
Пруток, высокой прочности, ГОСТ 51834-2001			550-570	480-490	6			Закалка и искусственное старение
Лента отожжен., ГОСТ 13726-97			245		10			
Профили отожжен., ГОСТ 8617-81			275		10			
Профили, ГОСТ 8617-81			510-520	451-461	6			
Плита, ГОСТ 17232-99			470-490	390-410	2-4			Закалка и искусственное старение

Твердость В95 ,	НВ 10 ⁻¹ = 125 МПа
Твердость В95 после закалки и старения ,	НВ 10 ⁻¹ = 150 МПа

Форма выпуска

Сплав В95 выпускается с различными состояниями материала:

- В обычном состоянии,
- М - после отжига в пластичном состоянии,
- Т - после закалки и естественного старения,
- Т1 - выпускаются чаще всего, - после закалки и искусственного старения,
- А также Н - с нагартовкой.
- С плакировкой.

Алюминиевые листы В95 обычно выпускаются с плакировкой 2-4% технического алюминия, для защиты от химического и электрического воздействия. Т.е. царапина на металле в одном месте не скажется на его коррозионных свойствах в целом.

Из него выпускают:

- Плиты В95,
- Ленты,
- Плиты,
- Профили.

Примечание: *Плакировкой* называется покрытие листов из алюминиевых сплавов при прокатке тонким слоем (5 % от толщины листа с каждой стороны) чистого алюминия, предохраняющим основной металл от коррозии.

Нагартовка заключается в механическом уплотнении поверхности металла металлической дробью, увлекаемой струей воздуха. Дробь, ударяясь о поверхность, равномерно уплотняет металл.

Нагартовка и полунагартовка применяются для термически неупрочняемых сплавов, закалка и старение — для термически упрочняемых сплавов.

При обычных условиях - это самый прочный и твёрдый сплав достаточно стойкий к коррозии, но плохо деформируемый и умеренно стойкий к коррозии, практически наравне с дюралюмином, но немного выше АМгб. Особенно его малая коррозионная стойкость проявляется при высокой напряжённости. По этой причине детали из В95 дополнительно защищают от окисления.

В виду малой стойкости к коррозии под точечным напряжением и склонности к надлому при надрезе, В95 чаще применяется для изготовления нагруженных деталей, работающих на сжатие. Детали из В95 не должны работать длительное время при температуре выше 100 °С. После изготовления элементов из неупрочнённого материала их можно закалить. Из В95 выпускают различные детали для техники, крепления, заклёпки и заклёпочная проволока.

Алюминиевый сплав Д16

Марка: Д16 (дуралюминий, дюраль).

Класс: Алюминиевый деформируемый сплав.

Сплав Д16 - наиболее распространенный сплав. Относится к системе А1 - Cu - Mg - Mn. Он интенсивно упрочняется термической обработкой. Сплав хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии. Горячая деформация возможна в широком интервале температур от 350 °С до 450 °С. Деформации при комнатной температуре сплав может подвергаться как в отожженном, так и в закаленном состоянии. Механические свойства полуфабрикатов после закалки и естественного старения в значительной мере зависят от условий предварительной обработки. Так у профилей прессованных из литого слитка, прочностные характеристики после термообработки имеют максимальные значения (46-50 МПа/мм²). У профилей прессованных из предварительно деформируемой заготовки прочностные характеристики после термообработки ниже 40-43 кг/мм².

Механические свойства при T=20 °С материала Д16

Сортамент	Размер	σ _в	σ _Т	σ ₅	Термообработка
	мм	МПа	МПа	%	-
Трубы, ГОСТ 18482-79		390-420	255-275	10-12	
Пруток, ГОСТ 21488-97		245	120	12	
Пруток, ГОСТ 21488-97	Ø 8 - 300	390-410	275-295	8-10	Закалка и старение
Пруток, высокой прочности, ГОСТ 51834-2001		450-470	325-345	8-10	Закалка и старение
Пруток, повышенной пластичности, ГОСТ 51834-2001		410	265	12	Закалка и старение
Лента отожжен., ГОСТ 13726-97		235		10	
Профили, ГОСТ 8617-81	10 - 150	412	284	10	Закалка и искусственное старение

Профили отожжен., ГОСТ 8617-81		245		12	
Плита, ГОСТ 17232-99		345-420	245-275	3-7	Закалка и старение

Твердость материала Д16, сплав отожженный	НВ 10 -1 = 42 МПа
Твердость материала Д16 после закалки и старения	НВ 10 -1 = 105 МПа

Физические свойства материала Д16

T	E 10- 5	a 106	l	г	C	R 109
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	0.72			2800		
100		22.9	130		0.922	

Химический состав в % материала Д16

Fe	Si	Mn	Ni	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
до 0.5	до 0.5	0.3 - 0.9	до 0.1	до 0.1	90.8 - 94.7	3.8 - 4.9	1.2 - 1.8	до 0.3	прочие, каждая 0.05; всего 0.

Примечание: **Al** - основа; процентное содержание **Al** дано приблизительно

Существенное влияние на механические свойства прессованных профилей оказывает величина коэффициента вытяжки при прессовании. Максимальные значения прочностных характеристик получаются при коэффициенте вытяжке равной 9-12. Поэтому крупногабаритные профили имеют, как правило более высокие показатели прочности, чем профили мелких сечений, прессуемых обычно с высокими коэффициентами вытяжки (25 -35 и более) Различные механические свойства наблюдаются так же при производстве профилей с резко отличающимися толщиной полок. Образцы вырезанные из толстых полок имеют более высокие значения, чем вырезанные из тонких полок. Прочность прессованных полуфабрикатов будет выше примерно на 10% без заметного снижения показателей пластичности, если изготавливать их из сплава с содержанием меди и марганца на верхнем пределе 4,5, 0,85% С и 0,65-0,85% Мп и повышать температуру прессования до 430-460°С. Прессованные полуфабрикаты в закаленном и естественно состаренном состоянии имеют пониженную коррозионную стойкость. Искусственное старение является более предпочтительным, так как обеспечивает лучшие практические свойства. Но применять его следует только для ответственных деталей.

Сплав алюминий Д16 хорошо сваривается точечной сваркой. При газовой и аргоно-дуговой сварках с присадкой Д16 склонен к образованию кристаллизационных трещин. Предел прочности сварного соединения составляет 60-75% от прочности основного материала. При перезакалке и естественном старении прочность достигает 90% от прочности основного материала. Пластичность сварных швов пониженная.

Детали из алюминиевого сплава Д16 обычно эксплуатируются при температурах не выше 120°C, так как при высоких температурах он проявляет склонность к межкристаллитной коррозии.

Алюминиевый сплав Д16Т широко используется для большинства силовых элементов конструкций. Он пластичен, вследствие чего обладает высокими усталостными характеристиками.

Для защиты сплавов алюминия Д16 и Д16Т от коррозии используют анодное оксидирование. Надо отметить, что материал маркированный Д16АТ является плакированным, т.е. покрытым плёнкой чистого алюминия для сопротивления коррозии. Важно, что если вам надо покрывать алюминий другим материалом, например красить, то плакировочный слой надо удалять.

Современная авиационная техника - это техника для длительной эксплуатации (более 40 000 летных часов). Ее изделия находятся под воздействием циклических нагрузок, температуры и атмосферной среды. В конструкции самолетов гражданского флота используют в основном сплавы Д16, Д19, В95, В96 в качестве материалов для фюзеляжа, крыше и киля. Обшивка верхней поверхности крыла выполняется из сплавов типа В95, хорошо работающих на сжатие. Детали растянутой зоны крыла и обшивка фюзеляжа, вспомогательные лонжероны и нероворы изготавливаются из высокопрочного сплава типа Д16, В95. Сплавы эти рекомендуются для силовых деталей, которые воспринимают большие эксплуатационные нагрузки. Прессованные полуфабрикаты из сплавов В95 и В96 поступают на изготовление киля крупногабаритных самолетов. Обшивка в зоне двигателя, подвергающаяся нагреву, в основном, изготавливаются из сплавов Д16, Д19.

Алюминий и сплавы на его основе находят все более широкое применение в судостроении. Из алюминиевых сплавов изготавливают корпуса судов, палубные надстройки, коммуникацию и различного рода судовое оборудование. Наиболее широкое применение среди алюминиевых сплавов для изготовления конструкций речного и морского флота находят магниевые сплавы АМгЗ, АМг5, АМг61, а также сплавы АМц и Д16. Корпус судна повышенной грузоподъемности изготавливают из стали, тогда как надстройки и другое вспомогательное оборудование из алюминиевых сплавов.

Одним из основных требований к материалам, применяемым в автомобильном транспорте, является малая масса и достаточно высокие показатели прочности. Принимаются во внимание также коррозионная стойкость и хорошая декоративная поверхность материала. Высокая удельная прочность алюминиевых сплавов увеличивает грузоподъемность и уменьшает эксплуатационные расходы передвижного транспорта. Высокая коррозионная стойкость материала продляет сроки эксплуатации, расширяет ассортимент перевозимых товаров, включая жидкости и газы с высокой агрессивной концентрацией.

Таблица 1

№ п/п	Свойства сплавов	В95	Д16
1.	Химический состав		
2.	Механические свойства		
3.	Коррозионные свойства		
4.	Изменения свойств, при повышении $T^{\circ}C$		
5.	Виды термообработки		
6.	Значения твердости до и после закалки		
7.	Выпускаемые полуфабрикаты		
8.	Применение		

Контрольные вопросы

1. Где применяют деформируемые алюминиевые сплавы?
2. Как улучшают механические свойства литейных алюминиевых сплавов?
3. Какие способы термической обработки применяют для алюминиевых сплавов?

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
2. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Инструкция по практическому занятию № 10

Тема: Изучение микроструктуры сплавов цветных металлов

Цель занятия: Получить практический навык микроанализа основных групп медных сплавов и бронз. Изучить их микроструктуру и свойства, маркировку, область применения.

Этапы занятия:

1. Изобразить участок диаграммы медь-цинк (до 50%. цинка), нанести на нем фигуративные линии сплавов Л70 и ЛС59-1.
2. Изобразить схематически микроструктуру этих сплавов в предварительно деформированном и отожженном состоянии, указать структурные составляющие и фазовый состав.
3. Пользуясь таблицами приложения и рисунками, определить химический состав и механические свойства, изученных латуней.
4. Изобразить микроструктуру бронзы БрА5 и БрО10Ф1 в литом и предварительно деформированном и отожженном состоянии. Указать структурные составляющие и фазовый состав сплавов.
5. Краткие выводы об особенностях структуры и свойствах исследованных сплавов.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Чистую медь применяют для электротехнических целей и поставляют в виде полуфабрикатов - проволоки, прутков, лент, листов, полос и труб. Из-за малой механической прочности чистую медь не используют как конструкционный материал, а применяют ее сплавы с цинком, оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом. Легирование меди обеспечивает повышение ее механических, технологических и эксплуатационных свойств. Различают три группы медных сплавов: латуни, бронзы, сплавы меди с никелем.

Медь— это пластичный металл светло-розового цвета, плавится при 1083 °С, имеет плотность 8,96 г/см³. Обладает гранецентрированной кубической решеткой. Отличительная особенность меди — ее малое электросопротивление, высокая теплопроводность, хорошая коррозионная стойкость во многих естественных средах (атмосфера, земля, морская и пресная вода). Последнее свойство объясняется как химической стойкостью самой меди (по электрохимическому потенциалу медь положительнее водорода), так и устойчивостью образующихся продуктов коррозии.

Предел прочности меди в отожженном состоянии составляет 250 МПа, относительное удлинение 50%, относительное сужение 75%. Для упрочнения меди используется наклеп. Путем наклепа можно довести $\sigma_{\text{до}}$ до 450 МПа, но при этом пластичность понижается.

Примеси оказывают существенное влияние на механические, технологические и физические свойства меди. Растворимые примеси (Al, Sn, Zn и др.) повышают механические свойства, но значительно снижают электро- и теплопроводность. Нерастворимые примеси (Pb, Bi) образуют легкоплавкие эвтектики, которые затрудняют горячую обработку давлением из-за горячеломкости. Примеси (S, O) образуют тугоплавкие эвтектики, которые располагаются по границам зерен, что приводит к появлению хрупкости меди. Микроструктура литой меди полиэдрическая, зернистая (рис.1а). Микроструктура холоднодеформированной меди, подвергнутой последующему рекристаллизационному отжигу, такая же, но с наличием двойников (рис.1б).

Химический состав меди и свойства нормированы ГОСТ 859-78. Медь поставляют в мягком (отожженном) и твердом состоянии. Она применяется для изготовления сплавов на медной основе, токопроводящих деталей, фольги и т.п. (см. табл.1 приложения).

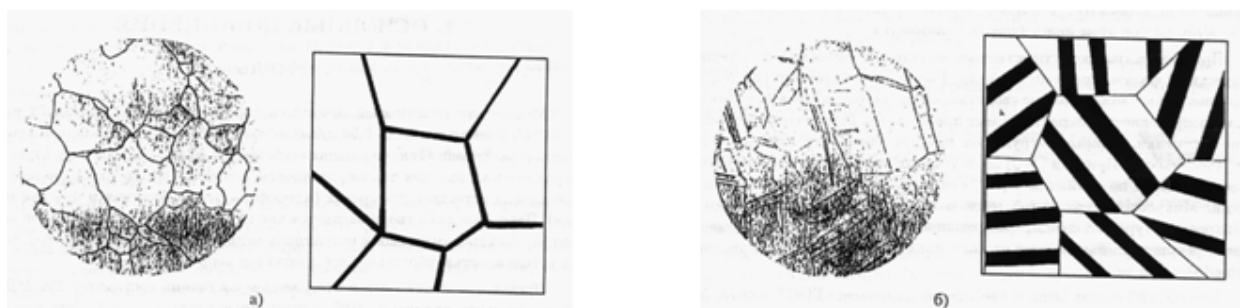


Рис.1. Микроструктура меди (справа - схематическое изображение):

а) литой;

в) холоднодеформированной, подвергнутой рекристаллизационному отжигу.

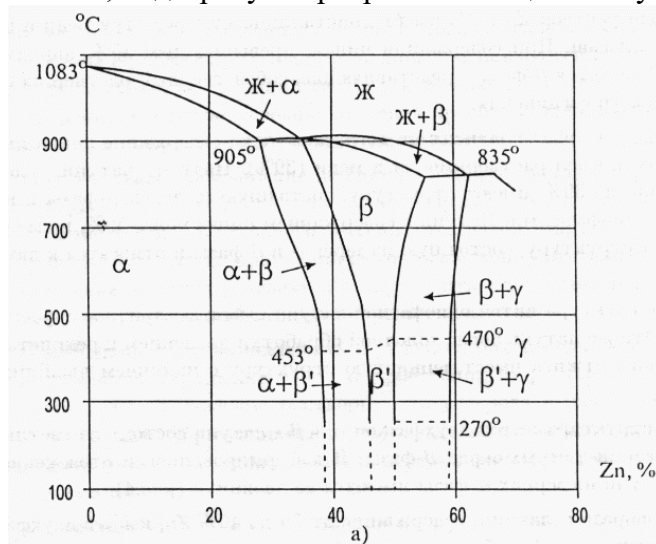


Рис. 2а. Диаграмма состояния медь-цинк.

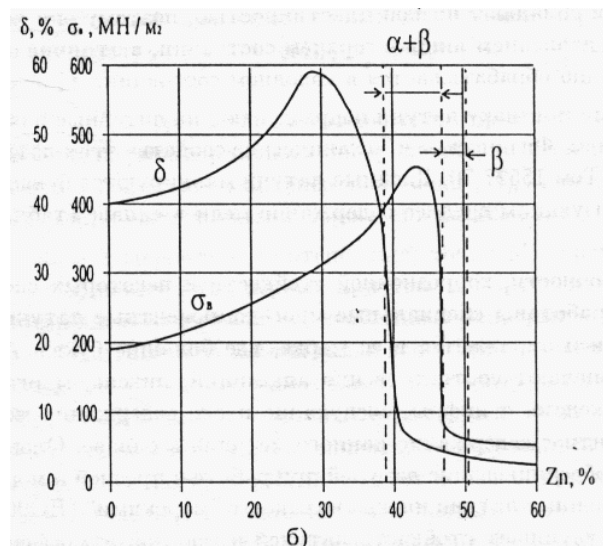


Рис. 2б. График изменения механических свойств латуней, в зависимости от содержания цинка :- относительной удлинение; - предел прочности

ЛАТУНИ

Латуни представляют собой двойные или многокомпонентные медные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом. Цинк способен растворяться в меди в твердом состоянии до 39% (см. табл.1 приложения).

Твердый раствор Zn и Cu имеет кристаллическую решетку меди и называется α-фазой. При содержании цинка, превышающем 39%, наряду с α-фазой образуется β-фаза, представляющая собой твердый раствор на базе химического соединения.

Количество β-фазы зависит от того, насколько содержание цинка превышает его предел растворимости в меди (39%). Поэтому латуни, содержащие цинк до 39%, имеют структуру, состоящую из зерен α-фазы и называются однофазными. Латуни с содержанием цинка более, 39%, но менее 46% имеют структуру, состоящую из зерен α и β-фазы и относятся к двухфазным.

Микроструктура литой однофазной латуни имеет дендритное строение (рис.3а). Эта же латунь после холодной обработки давлением и рекристаллизационного отжига, имеет зернистую структуру с наличием двойников (рис.3б).



Рис. 3. Микроструктура однофазной латуни (справа - схематическое изображение): а) литой; б) деформированной и отожженной

Микроструктура литой двухфазной $\alpha + \beta$ - латуни состоит из светлых зерен α -фазы и темных зерен β -фазы. В деформированной и отожженной $\alpha + \beta$ -латуни на зернах α -фазы имеются ее двойники (рис.4).

Таким образом, латуни, содержащие от 39 до 46% Zn, имеют двухфазную структуру $\alpha + \beta$ и обладают низкой пластичностью, поэтому они хорошо обрабатываются давлением лишь в горячем состоянии, в отличие от α -латуни, которая хорошо обрабатывается в холодном состоянии. По технологическому признаку латуни подразделяют на литейные и обрабатываемые давлением. Физические и механические свойства этих латуней нормируются ГОСТом 15527-70. Двойные латуни маркируются буквой Л и числом, характеризующим среднее содержание меди в сплаве (табл.2 приложения).

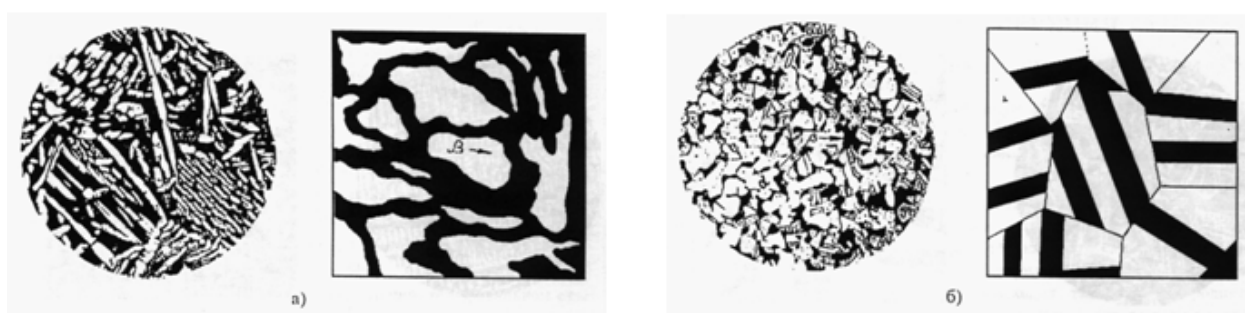


Рис. 4. Микроструктура двухфазной латуни (справа - схематическое изображение):
а) литой; б) после деформации и отжига

Для повышения прочности, коррозионной стойкости и некоторых специальных свойств разработаны специальные многокомпонентные латуни. Состав сложных латуней отражается в ее марке, где большие буквы А, Н, Мц, К, О, Ж обозначают соответственно алюминий, никель, марганец, кремний, олово, железо, а цифры, следующие после содержания меди, показывают процентное содержание данного металла, в сплаве. Олово существенно снижает обесцинкование латуней при работе в пресной и морской воде, поэтому оловянные латуни иногда называют "морскими" (ЛО90-1, ЛО62-1). Марганец улучшает стойкость латуней в морской атмосфере (Амц58-2). Кремний резко упрочняет латуни, также повышает коррозионную стойкость (ЛК80-3). Более сложные по составу латуни содержат совместно алюминий (ДО 2%), железо, никель, марганец, кремний (по 1–3%). Отличительная особенность этих сплавов еще более высокая прочность и стойкость в различных средах. К этой группе сплавов относится латунь ЛЖМц59-1.

Для улучшения обработки резанием (точение, сверление и пр.) и некоторые двойные латуни вводят свинец (ЛС59-1). Он не растворяется в меди и в структуре распределен в виде отдельных включений. При обработке резанием латуни, в структуре которой имеются мелкие равномерно распределенные включения свинца, получается сыпучая, а не витая стружка.

Это не только облегчает процесс обработки резанием, но и позволяет получать чистую без заусенцев отработанную поверхность.

В табл.3 приложения приведены примеры специальных латуней, обрабатываемых давлением. Видно, что они широко применяются в судостроении в качестве антифрикционных материалов и для деталей судовой арматуры.

Литейные латуни нормируются по ГОСТ 17711-80, они содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением, от последних литейные латуни отличаются, как правило, большим легированием цинком и другими металлами. Вследствие малого интервала кристаллизации литейные латуни обладают хорошими литейными характеристиками. В марке литейной латуни указывается содержание цинка. Например: ЛЦ10 – литейная латунь, содержащая 10% Zn и 90% Cu. В таблице 4 приложения указаны состав и область применения сплавов этой группы.

БРОНЗЫ

Бронзами называют сплавы меди, в которых цинк и никель не являются основными легирующими элементами.

Название бронзам дают по названию основного легирующего элемента, например, оловянная, алюминиевая и т.п. Отдельные бронзы в качестве легирующего компонента содержат цинк, но он не является основным. По фазовому составу бронзы делят на однофазные и двухфазные. Однофазные бронзы состоят из зерен твердого раствора легирующих элементов в меди, называемого α -фазой. По технологическому признаку бронзы, как и латуни делят на 2 группы: литейные и деформируемые. Литая однофазная бронза имеет структуру неоднородного твердого раствора т.е. дендритную структуру. Дендриты любого сплава всегда обогащены более тугоплавким компонентом, а междендритные объемы – более легкоплавким. Схемы микроструктуры литой и деформированной бронз аналогичны соответствующим схемам латуни. (См. рис.3). В двухфазных бронзах наряду с α -фазой присутствуют кристаллы более твердого химического соединения той или иной природы, которые могут присутствовать в структуре либо в виде отдельных кристаллов, либо являться составной частью эвтектоида. Например, микроструктура литой двухфазной бронзы БрА10 состоит из следующих структурных составляющих – светлых участков α -фазы (это твердый раствор алюминия в меди) и темных участков эвтектоидной смеси α -фазы и химического соединения, (рис.5).



Рис. 5. Микроструктура литой двухфазной бронзы (справа - схематическое изображение)

Оловянные бронзы – это сплавы меди с оловом, которые могут содержать, добавки фосфора, свинца, цинка, никеля и других легирующих элементов. Обладая достаточной прочностью, они имеют высокую коррозионную стойкость (особенно в морской воде), хорошие антифрикционные свойства, низкий коэффициент трения, высокое сопротивление износу. Небольшие добавки фосфора (0,1?0,4%) в оловянные бронзы вводят с целью их раскисления. Добавки цинка улучшают литейные свойства (вследствие уменьшения интервала кристаллизации), а добавки свинца – антифрикционные свойства.

Алюминиевые бронзы содержат обычно добавки марганца, железа, никеля, свинца. Марганец улучшает коррозионную стойкость, никель и железо – прочностные свойства, свинец – антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием алюминиевых бронз. Помимо оловянных и алюминиевых бронз в судовых механизмах применяются кремнистые и бериллиевые бронзы. Последние близки к алюминиевым бронзам по значению свойств и технологическим характеристикам. В табл.6 приложения указаны области применения деформируемых бронз, обрабатываемых давлением.

Большинство литейных оловянных бронз применяется для изготовления ответственных отливок. Отливки из алюминиевых бронз обычно получают литьем в кокиль или песчаные формы. Обратите внимание на особенность маркировки литейных бронз (табл.7 приложения).

1. Для каждого из заданных образцов латуней и бронз выполнить следующее –определить структурные составляющие и схематично зарисовать микроструктуру изучаемых сплавов;

–

под каждой микроструктурой написать увеличение, химический состав сплава, структурные составляющие, марку, применение.

2. Пользуясь диаграммой состояния "медь

– цинк" и графиком изменения механических свойств латуней определить относительное удлинение и предел прочности рассмотренных сплавов, объяснить отличие свойств однофазных и двухфазных латуней.

3. Расшифровать марку предложенного многокомпонентного сплава.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие примеси практически не растворяются в меди?
Есть ли отличие в микроструктуре литой и деформированной, подвергнутой последующему рекристаллизационному отжигу меди?
2. Что такое латунь?
3. Как влияет цинк на свойства однофазных латуней?
Как маркируют деформируемые латуни?
Какие латуни относят к многокомпонентным, специальным?
4. Что такое бронза?
5. Дайте характеристику свойств оловянных бронз.
6. Где применяется бронза?
7. Где применяются латуни?

Критерии оценки:

уровень освоения студентом учебного материала и дополнительной литературы

Критерии	Количество баллов
Оформление теоретической части	3 балла
Выполнение практической части	3 балла
Полнота ответов на контрольные вопросы	3 балла

«5» - 9 баллов;

«4» - 7-8 баллов

«3» - 5-6 баллов

«2» - < 5 баллов

Литература

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение – М.: Академия, 2013. – 80 с.
2. Моряков О.С Материаловедение: учеб. для СПО – М.: Академия, 2014. – 240 с.
3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов и колледжей. – СПб: Политехника, 2009.

Интернет-ресурсы

1. http://wilydingwas.clan.su/news/new_page_1/2014-02-14-136
Микроскопическое исследование медных сплавов – доступ свободный