

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 06.09.2023 13:21:20

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Колледж Пятигорского института (филиал) СКФУ

УТВЕРЖДАЮ

Директор Пятигорского
института

(филиал) СКФУ Т.А. Шебзухова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Специальности СПО

23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов
автомобилей»

Пятигорск 2022 г.

Методические указания для практических занятий по дисциплине «Материаловедение» составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к подготовке выпускника для получения квалификации специалист. Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей»

Пояснительная записка

Данные методические указания предназначены для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений по программе дисциплины «Материаловедение» для специальности 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей.

Практические занятия составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности.

Целями проведения практических занятий являются:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения при производстве, ремонте и модернизации автомобилей;
- выбирать способы соединения материалов и деталей;
- назначать способы и режимы упрочения деталей и способы их восстановления, при ремонте автомобиля, исходя из их эксплуатационного назначения;
- обрабатывать детали из основных материалов;
- проводить расчеты режимов резания.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать:**

- строение и свойства машиностроительных материалов;
- методы оценки свойств машиностроительных материалов;
- области применения материалов;
- классификацию и маркировку основных материалов, применяемых для изготовления деталей автомобиля и ремонта;
- методы защиты от коррозии автомобиля и его деталей;
- способы обработки материалов;
- инструменты и станки для обработки металлов резанием, методику расчета режимов резания;
- инструменты для слесарных работ.

Содержание

1. Порядок выполнения практических работ	4
2. Контроль выполнения работы	5
3. Практические работы	6
4. Рекомендуемая литература	72

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Дисциплина ОП.04 Материаловедение является частью основной профессиональной образовательной программы СПО СКФУ колледж г. Пятигорска по специальности 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей», разработанный в соответствии с примерной программой ФГОС СПО второго поколения.

Особое значение для усвоения содержания дисциплины и привития практических навыков имеет правильная и четкая организация проведения и выполнения студентами практических работ с требуемой точностью под контролем преподавателя.

Перед началом выполнения каждой работы студенты должны ознакомиться с ее основными положениями. После выполнения практической работы необходимо произвести обработку результатов испытаний и сделать необходимые выводы, ответить на контрольные вопросы.

Программа предусматривает изучение важнейших разделов и тем, необходимых в подготовке техников по данной специализации

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен уметь:

- выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения при производстве, ремонте и модернизации автомобилей;
- выбирать способы соединения материалов и деталей;
- назначать способы и режимы упрочения деталей и способы их восстановления, при ремонте автомобиля, исходя из их эксплуатационного назначения;
- обрабатывать детали из основных материалов;
- проводить расчеты режимов резания.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать:

строение и свойства машиностроительных материалов;

- методы оценки свойств машиностроительных материалов;
- области применения материалов;
- классификацию и маркировку основных материалов, применяемых для изготовления деталей автомобиля и ремонта;
- методы защиты от коррозии автомобиля и его деталей;
- способы обработки материалов;
- инструменты и станки для обработки металлов резанием, методику расчета режимов резания;
- инструменты для слесарных работ.

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Контроль выполнения работы проводится преподавателем в аудитории.

Предусмотрены следующие виды контроля:

- устный опрос;
- отчетные работы.

Результаты контроля используются для оценки текущей успеваемости студентов.

Оценка текущей успеваемости студентов выставляется в журнал теоретического обучения.

Критерии оценки выполненной обучающимися работы:

оценка «5» - работа выполнена без ошибок, чисто, полностью раскрыта тема;

оценка «4» - работа выполнена с незначительными ошибками, тема раскрыта не полностью;

оценка «3» - работа выполнена с ошибками, тема не раскрыта.

Практическая работа № 1.(семинар)

Тема 1.Закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов. Строение и свойства металлов и сплавов.

Цель работы:Изучения процесса первичной кристаллизации. Строение свойства металлов.

Теоретические основы.

Основные типы кристаллических решеток.

Металлы являются кристаллическими телами. Атомы и занимаемом ими пространстве расположены строп>упорядоченно и находятся в определенных местах на вполне определенных расстояниях друг от друга, в состоянии покои, не перемещаясь друг относительно друга. Находясь на своих местах, атомы вследствие термокинетического эффекта совершают колебания частотой 10^{11} с⁻¹ с изменяющейся в зависимости от температуры амплитудой. В ряде случаев, под влиянием локальных тепловых процессов, атомы кристаллических тел все же могут перемещаться между соседними в другое положение; такое явление называется самодиффузией. Если соединить атомы с воображаемыми линиями в трех взаимно перпендикулярных направлениях то получится пространственная кристаллическая решетка. Ее наименьшим структурным образованием является элементарная ячейка, контур которой представляет какое-нибудь составленное из атомов геометрическое тело, например куб или шестигранную призму. Ячейки примыкают друг к другу многократно повторяясь, образуют более крупные зерна или кристаллы.

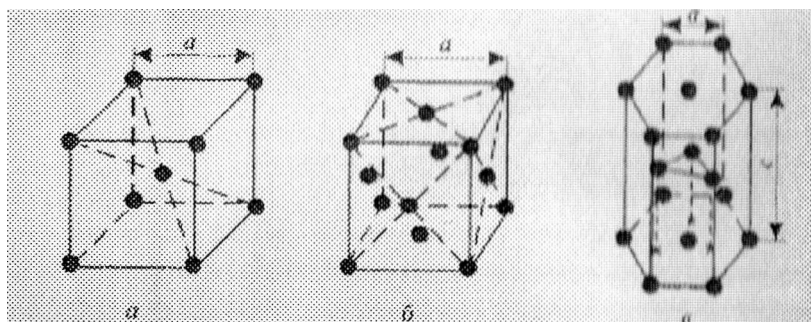


Рис. 1. Основные типы кристаллических решеток металлов;

а) кубическая объемно-центрированная (ОЦК) б) кубическая
гранецентрированная (ГЦК); в) гексогональнаяплотноуплотненная

Ориентировка ячеек в соседних зернах металла различна, а в пределах каждого зерна одинакова. Поэтому в кристаллической решетке зерен существует ближний и дальний порядок. Ближний означает постоянство ближних атомов-соседей у каждого атома, а дальний — удаленных.

Наиболее простой кристаллической решеткой у металлов является кубическая, имеющая две разновидности кубическую объемно-центрированную (ОЦК) и кубическую гранецентрированную (ГЦК) (рис 1, а, б). У обоих типов этих решеток основу ячеек составляют восемь атомов,

образующих куб, и находящихся в его вершинах. Остальные атомы находятся или в центре объема куба (один атом на пересечении диагоналей в решетке ОЦК), или в центре каждой из его граней (шесть атомов в решетке ГЦК). Кристаллические решетки ОЦК имеют альфа-железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден, бета-титан и другие металлы. Решетку ГЦК имеют гамма-железо, алюминий, медь, никель, свинец и некоторые другие металлы.

Другой разновидностью кристаллических решеток у металлов является гексагональная плотно упакованная решетка (ГПУ) (рис. 1, в). Ячейка этой решетки представляет собой шестигранную призму с центрированными основаниями, между которыми на некотором расстоянии от центров трех граней расположены еще три атома. ГПУ решетку имеют альфа-титан, магний, цинк, кадмий, бериллий и другие металлы. В ячейках кристаллической решетки всех типов атомы касаются друг друга внешними слоями электронных оболочек. Межатомные силы сцепления, обеспечивающेमорфологическую целостность кристаллической решетки, создаются электромагнитным воздействием, обусловленным наличием у атомов валентных электронов. Понятие о дислокациях и других дефектах кристаллической решетки. Кристаллическая решетка реального металла не является геометрически идеальной. В ее узлах нередко отсутствуют атомы, а в зернах очень часто между полными кристаллографическими плоскостями, идущими от границы до границы зерна, находятся так называемые экстраплотности, протяженность которых ограничивается только частью размера зерна. Существуют и другие дефекты, как правило, снижающие прочность металла.

Рассмотрим наиболее характерные дефекты кристаллической решетки металлов, известные под названием точечных и линейных. К точечным дефектам (соизмеримым с размерами атомов) относятся вакансии и внедренные атомы. Вакансии - это «пустые» узлы кристаллической решетки, т.е. места, где по той или иной причине отсутствуют атомы (рис. 2, а). Атомы внедрения - это атомы, находящиеся не в узлах кристаллической решетки, а в ее междоузлиях. Ими могут быть атомы данного или примесного элемента (рис. 2, б).

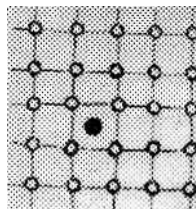
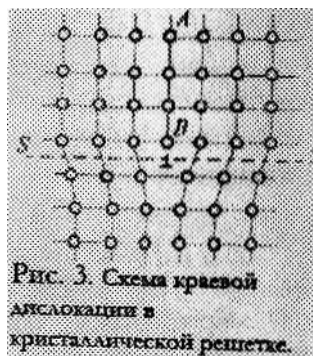


Рис. 2. Точечные дефекты в кристаллической решетке а) Вакансии; б) Атом внедрения; в) примесный атом внедрения.



Наиболее распространенными и очень важными с точки зрения формирования прочностных свойств металлов являются дефекты имеющие протяженность только в одном направлении, или линейные дефекты. Их принято называть дислокациями. Образуются дислокации в результате локальных или местных смещений кристаллографических плоскостей, происходящих в кристаллической решетке зерен различных технологических этапах их (зерен) формирования. Наиболее распространенной и характерной разновидностью дислокации является краевая дислокация (рис.3). Сформировавшаяся в результате предшествующих локальных сдвиговых процессов краевой дислокацией является нижняя граница (край) изображенной на рис. 3 как бы лишней, не имеющей продолжения полуплоскости АВ, перпендикулярна линии дислокации, именуемой экстраплоскостью. Линию атомов нижней границы экстраплоскости принято называть дислокацией. На рис. 3 она уходит за плоскость чертежа. Дислокацию обозначают знаком А. или Ш (экстраплоскости в верхней и нижней части зерна - положительная или отрицательная

Процесс образования твердой кристаллической фазы из жидкости называется первичной кристаллизацией.

Перекристаллизация некоторых металлов и сплавов в твердом состоянии при нагреве и охлаждении называется вторичной кристаллизацией.

Любое фазовое состояние вещества (жидкого или твердого) характеризуется определенным значением свободной энергии, зависящей от температуры, что видно из рис. 3.

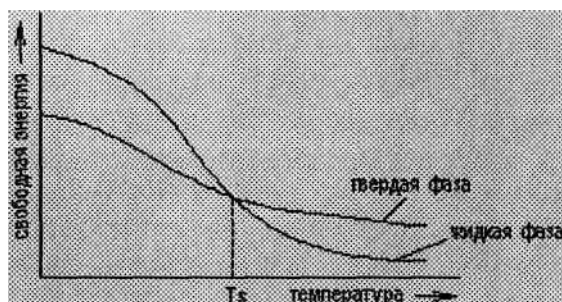


Рис. 3. Схема изменения свободной энергии жидкого и кристаллического металла в зависимости от температуры.

При некотором переохлаждении жидкого вещества ниже T_s начинается процесс первичной кристаллизации, протекающий в две стадии:

- образование центров кристаллизации;
- рост кристаллов.

Число центров кристаллизации, самопроизвольно зарождающихся в металле, и скорость роста кристаллов зависит от степени переохлаждения системы, которая зависит от скорости охлаждения. Эта зависимость показана на рис. 8. при отсутствии переохлаждения, что, видимо, соответствует температуре T_s (см. рис. 7), число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов равны нулю и процесс кристаллизации не идет. Для того чтобы начался процесс кристаллизации, необходимо некоторое переохлаждение.

Для металлов вследствие слабой переохлаждаемости жидкостей на опыте удалось определить лишь восходящие ветви кривых числа центров кристаллизации и скорости роста. С изменением степени переохлаждения изменяются соотношения числа центров кристаллизации и скорость роста, что и определяет размер получившихся кристаллов.

В технических металлах и сплавах большое влияние на размер зерна оказывают мельчайшие металлические взвеси, образующиеся при взаимодействии жидкого металла с материалом печи или изложницы окислы металлов, а также окислы, вводимые специально. Все эти нерастворимые включения играют роль центров кристаллизации, способствуя получению мелкозернистого металла. Процесс искусственного регулирования размеров зерна получил название модифицирования, а вещества, которые для этой цели используют — модификаторов.

На форму образующихся кристаллов большое влияние оказывают скорость охлаждения, направление теплоотвода, наличие нерастворимых частиц, которые могут сыграть роль центров кристаллизации и т.д.

При быстром и неравномерном теплоотводе металлы кристаллизуются в виде разветвленных, дендритных (древовидных) кристаллов (рис.9). Кристаллизация в этом случае начинается с образования оси кристалла, которая

растет в направлении главного теплоотвода. При дальнейшей кристаллизации оси разветвляются, и кристалл принимает дендритное строение. Процесс заканчивается тем, что заполняются все межосные пространства и кристалл принимает округлую форму, вытянутую в направлении главного теплоотвода. Такие кристаллы называются столбчатыми. В тех случаях, когда металла не хватает для заполнения всех межосных пустот, что встречается в усадочных раковинах, дендритная форма кристалла сохраняется.

При медленном и равномерном теплоотводе, а также при большом числе центров кристаллизации кристаллы растут с одинаковой скоростью по всем направлениям и принимают равновесную форму: зернистую или полиэдрическую (многогранную).

Наблюдение за процессом кристаллизации металлов и сплавов затруднено в связи с их непрозрачностью и высокими температурами кристаллизации. Поэтому изучение этих процессов осуществляется различными косвенными методами.

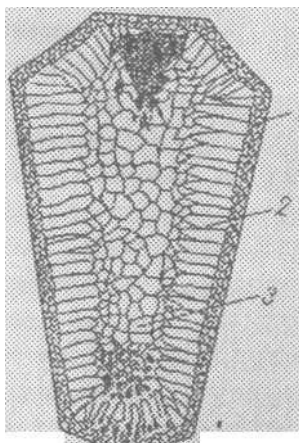


Рис. 4 Строение металлического слитка

При кристаллизации стального слитка, можно наблюдать три различные зоны кристаллов, отличающиеся своей формой и величиной (рис.4). Образование трех зон можно объяснить различными условиями кристаллизации. У краев возникает зона весьма мелких кристаллов (зона 1), что указывает на зарождение большого числа центров кристаллизации уподобить значительному переохлаждению кристаллизующегося металла.

К мелкозернистой зоне примыкает зона более крупных столбчатых кристаллов (зона 2). Направление роста этих кристаллов обычно перпендикулярно краю. Большой размер образующихся кристаллов указывает на уменьшение числа центров кристаллизации и увеличение скорости роста кристаллов. Направленный рост, обуславливающий столбчатую форму, вызван направленным отводом тепла в формы или изложницы.

В центре возникает третья зона (зона 3), состоящая из очень крупных, различно ориентированных равновесных кристаллов. Большой размер кристаллов указывает на малое число образующихся центров кристаллизации в связи с медленным охлаждением. Малая степень переохлаждения в центральной зоне слитка или отливки металла, создают условие для зарождения наибольшего числа различно ориентированных равновесных кристаллов.

Контрольные вопросы.

1. Какие виды кристаллических ячеек вы знаете, и какие металлы обладают такими решетками?
2. Что такое параметр кристаллической решетки (КР)? 3. Что такое металлическая связь?
4. Объясните причину образования зернистой структуры.
5. Что такое линейный дефект КР?
6. Что такое поверхностный дефект КР?
7. Дайте определение критического размера центра кристаллизации.
8. Как протекает процесс первичной кристаллизации?
9. Что такое дендрит?
10. Что такое усадка металла?
11. Какие три зоны бывают в слитках металлов?

Практическая работа № 2

Тема 1. Закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов. Строение и свойства металлов и сплавов.

Структурный анализ металлов и сплавов. Макро- и микроструктурный анализ металлов и сплавов.

Цель работы: ознакомить студентов с макроструктурой стали и методом ее изучения; с микроструктурой стали и методом ее изучения с помощью микроскопа.

Перечень приборов, принадлежностей и материалов, необходимых для выполнения работы

1. Металлографический микроскоп типа МИМ.
2. Полировальный станок для шлифов (условно).
3. Реактивы для травления образцов на макро- и микроструктуры. Фарфоровые чашки для травления.
4. Продольный темплет углеродистого стального слитка спокойной стали — для изучения его строения.
5. Поперечный темплет катаной заготовки углеродистой стали или образец,

вырезанный из стального слитка или стальной отливки - для изучения макроструктуры после соответствующего травления.

6. Шлифы, углеродистой горячекатаной стали.

7. Лупа X5.

8. Шлифовальная и фильтровальная бумага.

9. Щипцы для шлифов.

10. Схемы, ГОСТ, фото: оптическая схема микроскопа; схема строения стального слитка; фотографии (18X24) или больше) основных микроструктур стали — феррита, перлита, цементита, мартенсита; ГОСТ 8233—75 — Эталоны микроструктуры стали, ГОСТ 1778—75 — Эталоны металлических включений.

Теоретические основы.

В жидком состоянии сталь представляет собой однородный раствор углерода (и неизбежных примесей — марганца, кремния, серы и фосфора) в железе. После отливки в формы жидкая сталь переходит в твердое состояние в результате процесса кристаллизации. При этом образуются кристаллы различной крупности — от очень мелких до крупных. Этот процесс называется первичной кристаллизацией стали.

Как известно, в интервале температур примерно 900—730°C твердая сталь проходит вторичную кристаллизацию с образованием зерен феррита и цементита. Этой вторичной кристаллизацией определяется микроструктура стали. Однако вторичная кристаллизация полностью не устраняет дефектов первичной кристаллизации, вызванных неоднородностью размеров и форм кристаллов, характером процесса их роста и неравномерным распределением в связи с этим примесей. Это особенно касается вредных примесей – серы, фосфора и кислорода и образуемых ими, так называемых неметаллических включений в виде различных химических соединений. Эти дефекты в определенной мере влияют на механические свойства стали, в частности неметаллические включения являются центрами концентрации напряжений. Почти вся выплавляемая на металлургических заводах сталь идет в дальнейший передел — прокат, ковку, горячую штамповку и лишь в небольшой доле для изготовления фасонных стальных отливок. Сталь, идущая в передел, отливается в специальные чугунные формы — изложницы. Застывшая в изложнице сталь называется слитком. При переходе из жидкого в твердое состояние сталь уменьшается в объеме примерно на 4% (и увеличивает при этом свой удельный вес).

Сталь прежде всего застывает у дна и стенок изложницы и сверху слитка. Сокращение объема металла внутри образовавшейся корки ведет прежде всего к образованию усадочной пустоты или раковины (рис.1). Обычно раковина образуется в верхней части слитка, но могут появиться несколько таких самостоятельных участков вдоль центральной части слитка. Под усадочной раковиной располагается усадочная рыхлость, представляющая собой скопление

мелких пустот, которая может проникать сравнительно глубоко по центральной части слитка. Поверхности усадочной раковины и, как правило, пустот усадочной рыхлости покрыты разными окислами и поэтому не завариваются в процессе дальнейшейковки или прокатки.

Чтобы в максимальной степени избавить слиток от чрезвычайно серьезных пороков, его отливают с узкой частью — прибылью, куда искусственными методами (установкой части теплых надставок, которые замедляют остывание прибыли) поднимают усадочную раковину и рыхлость. Прибыль затем отрезают и направляют в переплав. Несмотря на то, что таким путем от слитка отрезается до 1/4 его веса, все же в слитке могут в некоторых случаях остаться следы раковины и часть рыхлости, что неблагоприятно сказывается на механических свойствах металла и может привести к полному браку ответственных изделий.

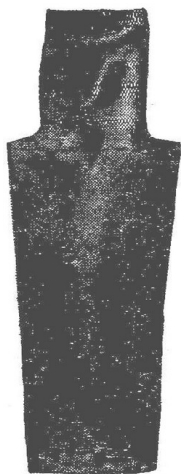


рис.1

Застывание и кристаллизация залитой в изложницу стали начинается от стенок изложницы сразу из многих центров. Температура стали при разливке около 1500°С. Встречаясь со стенками изложницы (подогретой примерно до 100°С), сталь сразу остывает, образуя у стенок плотную корку мелких кристаллов. За этим горячим сравнительно тонким слоем застывшего металла кристаллизация идет более замедленно. Из многочисленных центров кристаллизации перпендикулярно к стенкам изложницы и в направлении к середине слитка вырастают крупные столбчатые кристаллы сначала в виде осей (стволов), обрастающих затем под прямым углом ветвями названных дендритами



Рис.2

35

Межосевое пространство такого древовидного кристалла заполнено маточным сплавом — жидкой сталью, более богатой углеродом, примесями и неметаллическими включениями. Такой маточный сплав застывает в промежутках между ветвями относительно чистой стали в последнюю очередь; поэтому застывший дендрит представляет собой химически неоднородное тело, в котором сосредоточены и неметаллические включения и тем в большей степени, чем больше металла загрязненного шлаками, окислами и вредными примесями. Группа свободно развивавшихся в слитке застывших дендритов показана на рис. 3.



Рис.3

При горячей обработке слитка, т. е. при ковке, прессовании и прокатке, дендриты вытягиваются и дают резко выраженную волокнистую или, иначе, полосчатую структуру стали, в которой параллельными прослойками чередуются неоднородные по составу части дендритов, в том числе неметаллические включения (рис. 4).

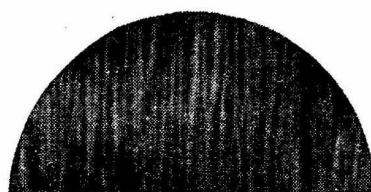


Рис 4

Механические свойства такой волокнистой стали неодинаковы в разных направлениях. Образцы стали, вырезанные вдоль волокон, обладают более высокими механическими свойствами, чем вырезанные поперек волокон. Это особенно сказывается на пластических свойствах металла. Например, ударная вязкость поперечных образцов может оказаться почти в два раза ниже продольных.

При деформации слитка в разных направлениях, что невозможно при ковке и прессовании, дендриты в стали могут отчасти измельчиться и взаимно переплестись, но волокнистость, хотя и менее резко выраженная, все же останется. Наряду с неметаллическими включениями в слитке образуются газовые пузыри вследствие способности жидкой стали поглощать некоторое количество различных газов (водорода, азота, окиси углерода и др). Эти газы затем при остывании стали выделяются. Но, не успев полностью всплыть на поверхность быстро густеющего металла, образуют в теле слитка газовые пузыри. Газы образуются также вследствие продолжающихся в изложнице химических реакций, результатом которых являются газообразные продукты, также частично не успевающие выделиться из слитка. Внутреннее строение слитка всегда лучше изучать невооруженным глазом на продольной пластине, так называемом темплете, вырезанном по продольной оси слитка. На таком шлифованном темплете очень хорошо выявляются положение и конфигурация усадочной раковины и рыхлости, газовые пузыри и сравнительно крупные трещины.

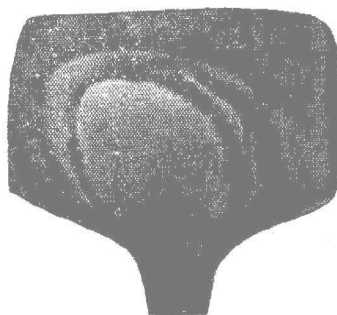


Рис. 5. Продольное расслоение головки рельса из-за наличия остатка усадочной раковины (аварийная поломка)

Помимо требований, предъявляемых к внутреннему строению слитка, однородности и чистоте его, серьезные требования предъявляются также к состоянию его поверхности. Здоровый слиток должен, прежде всего, иметь чистую поверхность без плен, наплывов, открытых пузырей, трещин и шлаковых наростов. Он не должен иметь подкорковых (т. е. близко лежащих от поверхности) пузырей, При прокатке они вызывают более или менее крупные продольные трещины.

Макроструктура стали.

Дендритное строение и характер расположения волокон, иначе говоря, макроструктуру стали определяют на полированном образце, вырезанном из слитка (или из фасонной стальной отливки) либо, что значительно проще, на поперечном темплете прокатанной из стали заготовки. Такой образец, глубоко протравленный соответствующим реактивом, позволяет отчетливо выявить невооруженным глазом дендритную структуру слитка либо полученной из него заготовки. При этом могут быть обнаружены также и некоторые внутренние пороки стали, например трещины, мелкие пузыри и следы усадочной раковины. Характер расположения волокон катаной заготовки позволяет судить о степени загрязненности металла неметаллическими включениями. На рис. 6, 7, 8 показаны некоторые пороки, обнаруженные при проверке макроструктуры стали.

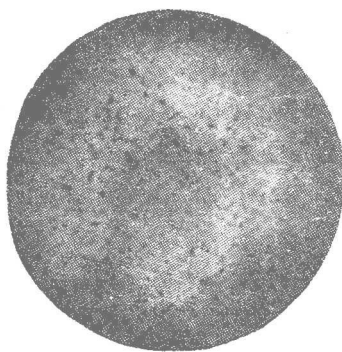


Рис 6

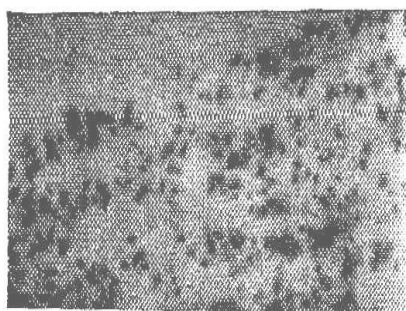


Рис. 7 Пористость круглой заготовки.

Результаты вторичной кристаллизации остывшей стали рассматриваются под микроскопом на полированных и соответствующим образом протравленных (обычно 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте) шлифах, представляющих собой небольшие образцы стали (диаметром или стороной квадрата, например, 12 мм-м высотой 10-12 мм), вырезанные из тех мест металла, которые следует изучить. *Кристаллическая структура стали или иного металлического сплава, выявляющаяся только под микроскопом, называется **микроструктурой**.*

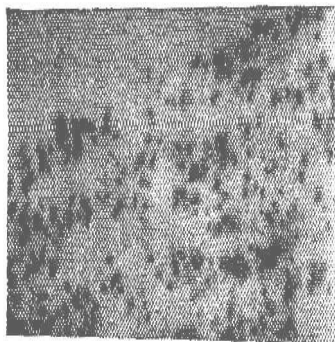


Рис. 8. Неметаллические включения в стали

Для ее изучения применяются металлографические микроскопы с различным увеличением начиная со 100-200 до 2000 раз. Наряду с ферритом и цементитом на шлифах под микроскопом выявляются и другие структурные составляющие стали — перлит; структуры закалки — аустенит, мартенсит, троостит, сорбит и др. При рассмотрении под микроскопом могут быть также обнаружены различные пороки стали, например на рис. 9 показана выявленная таким образом тонкая трещина — волосовина в теле металла, вызвавшая его поломку.

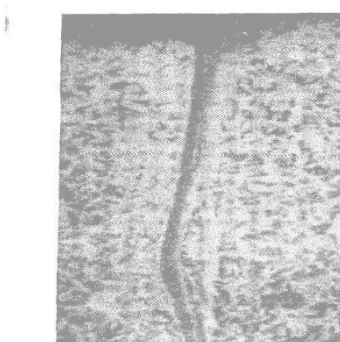


Рис. 9. Трещина в теле металла, выявленная при рассмотрении его микроструктур.

Микроскоп (рис. 9) применяется для визуального наблюдения и фотографирования микроструктуры металлов и позволяет путем подбора, объективов и окуляров получать четкие изображения при увеличении практически в 1000 раз (теоретически до 1500 раз).

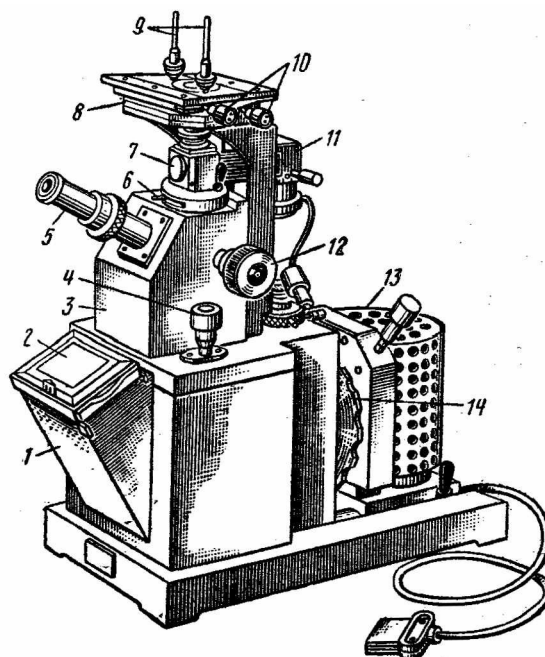


Рис. 9. Вертикальный металлографический микроскоп МИМ-7:

Шлиф укладывается на предметный столик полированной поверхностью вниз. Столик крестообразно перемещается ручьятками,. 1 — фотокамера, 2 — матовое стекло, 3 — корпус, 4 — микрометрическая подача объектива, 5 — визуальный тубус, 6 — анализатор, 7 — иллюминатор, 8 — стол, 9 — клеммы, 10 — ручьятки перемещения стола, 11 — кожух пентапризмы, 12 — ручьятка грубой подачи стола, 13 — осветитель, 14 — светофильтр

Содержание работы:

1. Ознакомление со строением стального слитка в натуре или по плакату.
2. Ознакомление с дендритной структурой стали.
3. Ознакомление с основными элементами микро- структуры горячекатаной стали (феррит, перлит, цементит) при помощи микроскопа.

Контрольные вопросы

1. Перечислить порядок подготовки образца к изучению макроструктуры
2. Что можно определить с помощью макроисследования?
3. Перечислить порядок подготовки образца к изучению микро- структуры
4. Что можно определить с помощью микроанализа?
5. Что помогает выявить макроструктуру стали?

Тема 2. Механические свойства металлов и сплавов. Методы определения механических свойств

Цель работы: Испытание металлов и сплавов на растяжение. Определение механических свойств металлов и сплавов.

Перечень приборов, принадлежностей и материалов, необходимых для выполнения работы:

- разрывная машина или школьный гидравлический пресс (рис. 1.2);

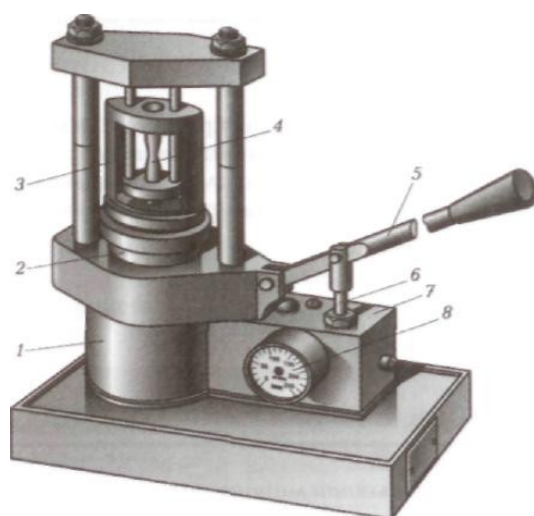


Рис. 1.2. ШКОЛЬНЫЙ гидравлический пресс:

1 — большой цилиндр гидравлического пресса; 2 поршень гидравлического пресса; 3 — реверсор для преобразования усилия сжатия в усилие растяжения; 4 — испытуемый образец; 5 — рычаг; 6 — шток малого поршня; 7 — малый цилиндр с насосом; 8 — манометр

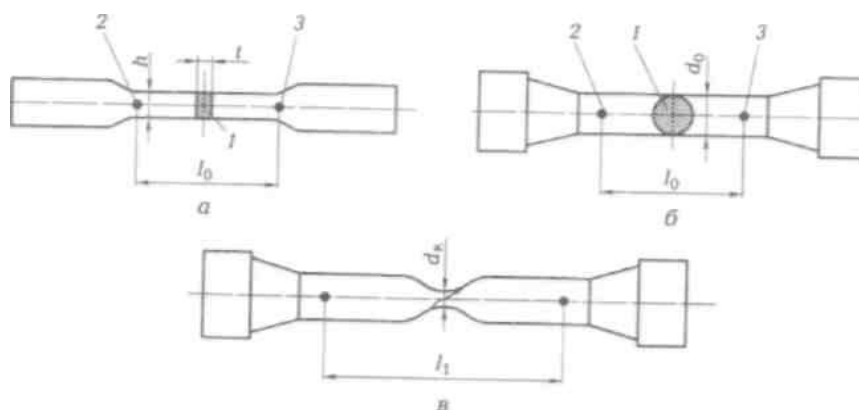


Рис. 1.3. Образцы для испытания металлов на растяжение: а — из листового и полосового проката; б — из круглого проката; в — из круглого проката после растяжения; 1—3 — контрольные сечения; d_0 , d_k — диаметр образца до и после испытания соответственно; 10 11 —

длина образца до и после испытания соответственно; h —толщина образца; t —ширина шейки

- реверсор для превращения усилия сжатия в усилие растяжения;

образцы для испытаний из круглого или полосового проката (рис. 1.3): на разрывной машине — длиной $l = 160$ мм, диаметром $d = 10$ мм; на школьном гидравлическом прессе — длиной $l = 60$ мм, диаметром $d = 6$ мм; штангенциркуль; кернер;

масштабная линейка; молоток.

Теоретические основы.

Механические свойства— это группа свойств, которая характеризует способность металлов, сплавов и изделий из них выдерживать различные внешние механические нагрузки (растягивающие, сжимающие, изгибающие, крутящие и др.). В зависимости от противодействия нагрузкам различают следующие механические свойства: прочность, твердость, ударная вязкость, пластичность и упругость. В машиностроении важным условием производства качественных деталей и изделий является знание механических свойств материалов, из которых изготовлены эти детали и изделия. Долговечность и надежность в процессе эксплуатации изделий машиностроения будут обеспечены только в том случае, когда при выборе материала учитываются их механические свойства. Все методы механических испытаний металлов и сплавов стандартизированы. Механические свойства испытывают в процессе металлургического производства металлов и сплавов, на машиностроительных предприятиях, в научно-исследовательских и учебных лабораториях.

Практические работы по определению механических свойств разработаны в соответствии со следующими нормативными документами:

ГОСТ 7564—97 «Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний»;

ГОСТ 9454—78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при повышенных, комнатной и пониженных температурах»;

ГОСТ 15.309—98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения»;

ПР 50.2.009—94 «Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений»;

ГОСТ 1497—84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»;

ГОСТ 7268—82 «Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб»;

ГОСТ 9012—59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю»;

ГОСТ 9013—59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу»;

ГОСТ 4670—91 «Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика»;

ГОСТ 28033—89 «Сталь. Метод рентгенофлуоресцентного анализа»;

ГОСТ 27208—87 «Отливки из чугуна. Методы механических испытаний»;

ГОСТ 2999—75 «Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Виккерсу»;

ГОСТ 8.563—96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика выполнения измерений»;

ГОСТ 8.417—2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин»;

Прочность и пластичность конструкционных материалов являются одними из основных показателей, определяющих их применение в машиностроении, энергетике, строительстве и других отраслях промышленности.

Прочность — это способность материалов сопротивляться разрушению под действием внешних нагрузок.

В технике различают истинное сопротивление разрыву S_K и временное сопротивление (предел прочности при растяжении) σ_B .

Истинное сопротивление разрыву S_K , МПа, — это отношение нагрузки P_K , Н, к площади поперечного сечения образца после разрыва $P_K \text{ м}^2$:

$$S_K = P_K / F_K. \quad (1.1)$$

Площадь поперечного сечения образца после разрыва вычисляют по формуле

$$P_K = \pi d_K^2 / 4, \quad (1.2)$$

где d_K — диаметр поперечного сечения образца после разрыва, м. При определении временного сопротивления σ_B , МПа, наибольшую нагрузку, предшествующую разрушению образца $P_{\max}$, Н, относят к площади поперечного сечения образца до испытания F_0 , м^2 :

$$\sigma_B = P_{\max} / F_0 \quad (1.3)$$

Площадь поперечного сечения образца до испытания определяют по формуле

$$F_0 = \pi d_0^2 / 4, \quad (1.4)$$

где d_0 — диаметр образца до испытаний, м.

Временное сопротивление существенно влияет на долговечность, надежность, износостойкость, демпферные и другие свойства, отвечающие функциональному назначению изделия.

Характеристиками **пластичности** металлов и сплавов являются:

относительное удлинение δ , %:

$$\delta = l_1 - l_0 / l_0 \cdot 100 \quad (1.5)$$

где l_0 , l_1 , — длина образца до и после испытания соответственно;

относительное сужение Ψ , %:

$$\Psi = F_0 - F_1 / F_1 \cdot 100. \quad (1.6)$$

По ГОСТ 1497—84, ГОСТ 27208—87 и ГОСТ 7564—97 временное сопротивление металлов и их сплавов определяют на разрывных машинах при испытании на растяжение

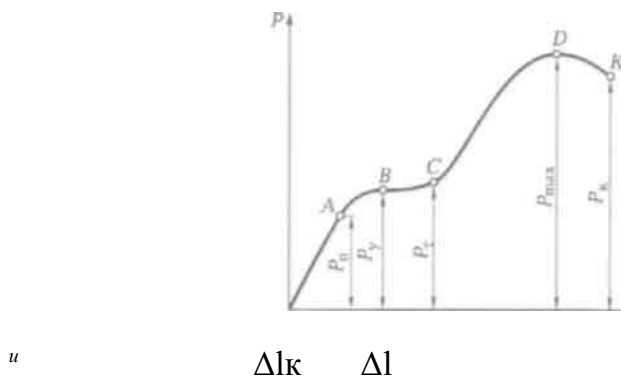


Рис. 1.1. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали:

OA — прямая упругости; AB — кривая пропорциональности; BC — площадка текучести; CC' — кривая резкого увеличения нагрузки; OK — кривая, предшествующая разрушению образца; P_y — нагрузка, соответствующая пределу упругости; P_n — нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности; P_t — нагрузка, соответствующая пределу текучести; P_{max} — максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца; P_k — нагрузка в процессе разрушения образца; Δl — абсолютное удлинение; Δl_k — абсолютное удлинение образца, соответствующее его разрыву

В процессе растяжения образца на разрывной машине самопишущее устройство строит **диаграмму растяжения** (рис. 1.1). На диаграмме растяжения на оси ординат (вертикальная ось) откладывается величина нагрузки P в ньютонах, прикладываемая к образцу, на оси абсцисс (горизонтальная ось) — величина абсолютного удлинения Δl в миллиметрах. В процессе растяжения образец испытывает характерные деформации:

- на участке OA — упругую деформацию;
- на участке AB — упругопластическую деформацию при незначительном увеличении нагрузки;
- на участке BC — пластическую деформацию (текучесть), свободное удлинение без повышения нагрузки P_t ;
- на участке CD — упругопластическую деформацию.

В точке D образец воспринимает максимальную нагрузку, предшествующую разрушению (P_{max}), которой соответствует временное сопротивление образца σ_b . Участок DK — дальнейшее удлинение образца. При достижении длины l_k образец разрушается.

Сущность метода испытания заключается в растяжении цилиндрических или плоских образцов на специальном оборудовании.

Размеры образцов и методы испытаний различного сортового проката (круглого, лент, листов, проволоки и т.д.) при отрицательных, нормальных и повышенных температурах устанавливаются стандартами.

В лабораторно-практической работе испытание на растяжение проводят при нормальной температуре 18...20°C. В процессе испытания определяют временное сопротивление, истинное сопротивление разрыву, относительное удлинение и относительное сужение образцов из различных конструкционных материалов.

Содержание работы:

Испытание на разрывной машине выполняется в такой последовательности.

1. Изучите инструкцию по охране труда при испытании материалов, устройство и принцип действия разрывной машины.
2. Подберите образцы для испытания на растяжение (образцы изготавливают в токарной мастерской на уроках производственного обучения).
3. Измерьте штангенциркулем с точностью до 0,1 мм начальный диаметр образца a''_0 . Замер производите в двух взаимно-перпендикулярных направлениях посередине и по концам отрезка, равного расчетной длине образца (сечения /, 2, 3). Данные измерений занесите в табл. 1.2.
4. Рассчитайте среднее значение диаметра в каждом сечении как среднее арифметическое измерений 1 и 2. Определите общее среднее значение диаметра образца как среднее арифметическое средних диаметров в каждом сечении. Результаты расчетов занесите в табл. 1.2.
5. Вычислите значение площади поперечного сечения образца по формуле (1.4), используя значение среднего диаметра образца.
6. Для проведения механических испытаний на разрывной машине:
 - выберите необходимый груз и шкалу;
 - присоедините самопишущее устройство;
 - установите миллиметровую бумагу, нанесите на ней оси координат;
 - установите образец в захват машины;
 - проверьте положение стрелок прибора, установив их на «нуль» шкалы;
 - включите электродвигатель и проведите испытание;
 - выключите электродвигатель после разрушения образца.
7. Проанализируйте диаграмму растяжения, вычерченную самопишущим устройством, расставив на ней соответствующие точки.

Таблица 1.2. Результаты расчета среднего диаметра образца			
Измерение	d ₀ , мм,		
	1	2	3
1			

2			
Среднее значение			
Общее среднее значение			

По шкале определите максимальную нагрузку P_{max} , предшествующую разрушению образца.

9. По формуле (1.3) определите временное сопротивление образца. По формуле (1.1) рассчитайте истинное сопротивление разрыву.

10. Выньте образец из разрывной машины, измерьте длину l_k образца, полученную при растяжении. Измерьте шейку образца по двум взаимно-перпендикулярным направлениям и определите средний диаметр шейки s_k . По формулам (1.5) и (1.6) определите относительное удлинение и относительное сужение образца.

11. Выполните пп. 3—10 для каждого образца.

При испытании на школьном гидравлическом прессе применяют реверсор для превращения усилия сжатия в усилие растяжения. Замеры диаметров образцов и расчет площади поперечного сечения выполняют аналогично замерам и расчету при испытании на разрывной машине.

Испытание на школьном гидравлическом прессе выполняйте в такой последовательности.

Изучите инструкцию по охране труда при испытании металлов, устройство и принцип действия школьного гидравлического пресса (см. рис. 1.2).

Определите площадь поперечного сечения образца до испытания P_0 по формуле (1.3).

Установите образец в замок реверсора с помощью двух разрезных шайб. Создайте давление при помощи гидравлического насоса до полного разрушения образца. При нагнетании давления внимательно следите за показаниями манометра и зафиксируйте наибольшее усилие пресса, предшествующее разрушению образца.

Определите площадь поперечного сечения образца P_k после испытания по формуле (1.2).

Соедините образец по месту излома и замерьте расстояние l , между двумя накерненными точками (см. рис. 1.3, в).

Определите механические характеристики материала при испытании на школьном гидравлическом прессе аналогично испытанию материала на разрывной машине.

7. Выполните пп. 2 — 6 для каждого образца.

Таблица 1.4. Результаты испытаний по определению относительного удлинения и сужения образцов

Номер образца	Длина образца, м		Площадь поперечного сечения образца, м ²		Характеристики пластичности	
	до исп ы- тани я / ₀	после ис- пытани я *1	До испыт ания P_0	после ис- пытания P_k	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %

Контрольные вопросы:

1. Что называется прочностью?
2. Приведите значения временного сопротивления стали, чугуна, меди и алюминия.
3. Что такое пластичность конструкционных материалов?
4. Чем она характеризуется?
5. Опишите диаграмму растяжения стали, полученную в результате испытаний.

Практическая работа № 4

Тема 2. Механические свойства металлов и сплавов. Методы определения механических свойств

Испытание металлов и сплавов на твёрдость. Определение твердости металлов и сплавов методами Бринелля и Роквелла.

Цель работы: ознакомить студентов с методом экспериментального определения механических свойств металлов и привить им навыки самостоятельного измерения твердости металлов методом Роквелла.

Перечень инструментов, принадлежностей и материалов необходимых для выполнения работы

1. Прибор Роквелла
2. Тиски параллельные
3. Напильник плоский
4. Лупа X5
5. Штангенциркуль
6. Контрольный брусок
7. Наждачная бумага
8. Три образца термически обработанной стали

9. Схемы, ГОСТы.

Теоретические основы.

При определении твердости по методу Бринелля поверхности испытуемого изделия остаются относительно глубокие отпечатки большого диаметра. При испытании же твердости по методу Роквелла на испытуемом изделии остается игольчатый след глубиной меньше 0,2 мм и примерно такого же диаметра. Кроме того, методом Бринелля можно, в строгом соответствии ГОСТом, испытать металл твердостью не выше НВ 450. Методом Роквелла можно испытать металл и металлокерамические материалы твердостью до НВ 1000.

По методу Роквелла твердость можно определить быстро и непосредственно на шкале индикатора, установленного на приборе.

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

Методом Роквелла нельзя также установить твердость хрупких изделий и изделий, имеющих на поверхности раковины и посторонние включения, а также тонких изделий, например, меньше 0,7 мм по шкалам В и С или 0,4 мм по шкале А. Измерение твердости металлов по Роквеллу заключается во вдавливании в испытуемое изделие или образец алмазного конуса или стального шарика под определенной нагрузкой P и в небольшой выдержке под нагрузкой. Применяемые при испытании нагрузки различны и определяются твердостью металлов.

1. Мягкие металлы твердостью НВ 60—230 испытывают при нагрузке 100 кГ (испытание производится стальным шариком).

2. Металлы твердостью НВ 230—700 испытывают при нагрузке 150 кГ (испытание производится алмазным конусом).

3. Металлы твердостью свыше НВ 700 испытывают при нагрузке 60 кГ (испытание производится алмазным конусом).

Указанные нагрузки прилагают к образцу последовательно в два приема. Сначала накладывают предварительную нагрузку $P_0=10$ кГ. При этом алмазный конус проникает в металл на глубину h_0 . Предварительная нагрузка предназначена для компенсации упругих деформаций прибора и испытуемого изделия или образца, которые влияют на показания прибора. Затем прилагают полную нагрузку P , состоящую из предварительной в 10 кГ и основной P_1 ($P=P_0+P_1$).

Таким образом, полная нагрузка составляет 60, 100 или 150 кГ. При полной нагрузке алмазный конус проникает в металл на глубину h . Стрелка индикатора прибора, находящегося под полной нагрузкой, показывает

разность глубин проникновения алмазного конуса (или шарика) в металл, т. е. $h-h_0$ а после снятия основной нагрузки (т. е. полной за вычетом предварительной нагрузки) показывает твердость испытуемого металла по соответствующей шкале. В зависимости от нагрузок индикатор прибора имеет разные шкалы: внутренняя, красного цвета (В), используется при испытании шариком; твердость по этой шкале обозначается HRB (нагрузка 100 кГ); наружная, черного цвета (С), совмещена со шкалой (А), используется при испытании алмазным конусом; твердость по этой шкале обозначается либо HRC (нагрузка 150 кГ), либо HRA (нагрузка 60 кГ). - Единица твердости определяется внедрением в испытуемый образец алмазного конуса или шарика на глубину 0,002 мм. При измерении твердости по Роквеллу должны соблюдаться следующие условия:

1. Участок образца примерно 20X15 мм., на котором производится измерение, должен быть очищен от окалины, окисных пленок а других посторонних веществ и не иметь трещин, выбоин и других дефектов, тщательно опилен, а лучше отшлифован, чтобы на нем не было видимых следов обработки, могущих исказить результаты измерения. При механической обработке должна быть исключена возможность изменения твердости образца вследствие нагрева или наклепа.
 2. Нагрузку следует прикладывать перпендикулярно к испытуемой поверхности образца, а сам образец должен лежать на столике устойчиво и не прогибаться при испытании.
 3. Радиус кривизны образцов с криволинейной поверхностью должен быть не менее 15 мм.
 4. Минимальная толщина испытуемого образца должна быть не менее 8-кратной глубины внедрения в него конуса. На обратной стороне испытуемого образца не должно быть следов деформации.
 5. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков или т центра отпечатка до края образца должно быть не менее 3 мм.
- Принцип действия прибора Роквелла. Схема прибора рычажного типа изображена на рис 14 . В приборе применена система рычагов отношением плеч 1: 20. На нем можно определять твердость образцов или изделий с максимальной высотой 200 мм и максимальным диаметром 240 мм.

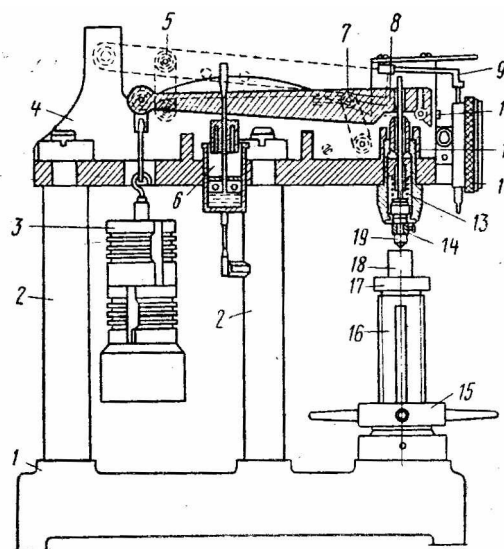


Рис. 14. Прибор Роквелла:

1 — станина, 2 — стойка, 3 — грузы на подвеске, 4 — поперечина, 5 — опорная серьга, 6 — масляный амортизатор. 7 — рукоятка, 8, 9 — рычаги, 10 — ось, 11 — щеки, 12 — индикатор, 13 — спиральная пружина, 14 — шпиндель, 15 — маховичок, 16 — подъемный винт, 17 — сменный столик, 18 — образец, 19 — наконечник

Образец 18 кладется на сменный столик 17, установленный на подставке подъемного винта 16, перемещающегося вверх и вниз при помощи маховичка 15. Предварительная нагрузка на образец осуществляется при помощи спиральной пружины 13, для чего помещенный на столик образец поднимается до соприкосновения с алмазом. Маховичок вращают до тех пор, пока малая стрелка индикатора не установится против красной точки циферблата, а большая стрелка не станет при этом примерно вертикально. В этом положении спиральная пружина 13 оказывается сжатой и давит на шпиндель 1, в котором закреплен наконечник 19 с алмазом или шариком, с силой 10 кГ. Независимо от наконечника (с алмазом или шариком) большая стрелка индикатора должна быть в этот момент совмещена (вращением ободка индикатора) с нулем черной шкалы С или, что то же самое, с цифрой 30 красной шкалы В, поскольку шкала В смещена относительно нулевого положения шкалы С на 30 делений. Основная нагрузка (P_1) на образец передается рычагом 8, на конец которого навешивают требуемый набор грузов 3 в 50, 90 и 140 кГ (из которых груз в 50 кГ представляет собой вес рычага с подвеской и является постоянным) — действительный вес накладываемых грузов составляет $1/20$ основного, т. е. 2,5; 4,5 и 7 кГ соответственно. В нерабочем положении рычаг 8 лежит на опорной серьге 5 и нагрузка на шпиндель не передается. Для приложения основной нагрузки поворачивают рукоятку 7, после чего рычаг вместе с серьгой 5 плавно опускается, нагружая наконечник 19, который вдавливают алмаз или шарик в испытуемый образец. Действие на образец полной нагрузки сопровождается прекращением заметного движения большой стрелки индикатора.

Плавное без рынков опускание рычага 8 (необходимое для получения правильного показания твердости образца и сохранения алмаза) обеспечивается масляным амортизатором 6, отрегулированным на определенную продолжительность испытания. Перемещение наконечника передается большой стрелке индикатора 12.

После остановки стрелки индикатора основная нагрузка снимается (предварительная нагрузка в 10 кГ остается). Рукоятку 7 плавно возвращают в исходное положение. При этом большая стрелка индикатора перемещается и останавливается, указывая на соответствующей шкале число твердости по Роквеллу.

Содержание работы:

1. Ознакомление с устройством и действием прибора Роквелла.
2. Проведение испытаний на твердость образцов термически обработанных сталей методом Роквелла.
3. Составление отчета о работе.

Порядок проведения испытания.

Испытание рекомендуется проводить следующим образом:

1. Установить на приборе грузы, сменный столик и наконечник в соответствии с характером и формой подлежащего испытанию изделия или образца. При этом опорные и рабочие поверхности столика, винта и наконечника должны быть тщательно очищены от смазки, стружки пр. При испытании по шкале А груз на подвеску устанавливать не следует, так как сама подвеска с рычагами дает основную нагрузку в 50 кГ.
2. Установить изделие или образец на сменный столик, обеспечив плотное их прилегание. Образец вытереть насухо.
3. Вращением маховичка довести испытываемую поверхность до прикосновения с наконечником. Продолжить (вращением маховичка) подъем столика до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки индикатора, а большая стрелка не станет в вертикальное положение с допустимым отклонением 5 делений.
4. Вращением ободка индикатора подвести к большой стрелке нуль черной шкалы или цифру 30 красной шкалы. –
5. Легким движением руки отодвинуть рукоятку 7 и предоставить рычагу возможность опуститься; время выдержки под полной нагрузкой должно составить 1—3 сек. При испытании высокопластичных металлов время выдержки может составить 10, 30 или 60 сек.
6. При остановке большой стрелки индикатора легким и плавным движением вернуть рукоятку в исходное положение.
7. Записать показание индикатора по соответствующей шкале твердости.
8. Повторить испытание еще раз на другом участке образца и записать показания.

9. Вращая маховичок, опустить столик и снять образец.

Шкалы нагрузок и твердости по Роквеллу

A	100	RA	H 0	6	Свыше 70	Свыше 700	е	Твердые сплавы, цементированные
C	100	RC	H 50	1	20-67	0-700		изделия
B	100	RB	H 00	1	25-100	60-230		Термически обработанные стали
	30							Мягкие металлы

Отчет по практической работе

1. Объяснить порядок проведения испытания.
2. Определить твердость образцов стали.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность измерения твердости металлов по Роквеллу?
2. Как определяется твердость по Роквеллу?
3. Перечислить преимущества метода измерения по Роквеллу.
4. Рассказать о шкалах твердости прибора Роквелла.
5. Какие нагрузки применяются?
6. Каков принцип работы прибора Роквелла?

Практическая работа № 5

Тема 3. Основы теории сплавов. Сплавы на основе железа и углерода.

Микроструктуры железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии.

Цель работы: Изучить микроструктуры технического железа, углеродистых сталей и белых чугунов в равновесном состоянии в связи с диаграммой состояния железо – цементит; порядок определения содержания углерода в стали по её микроструктуре.

Микроструктуры сталей

Микроструктура технического железа и углеродистых сталей для равновесных условий характеризуется нижней левой частью диаграммы состояния железо – цементит. Содержание углерода в них до 2,14% С. (Рис.1).

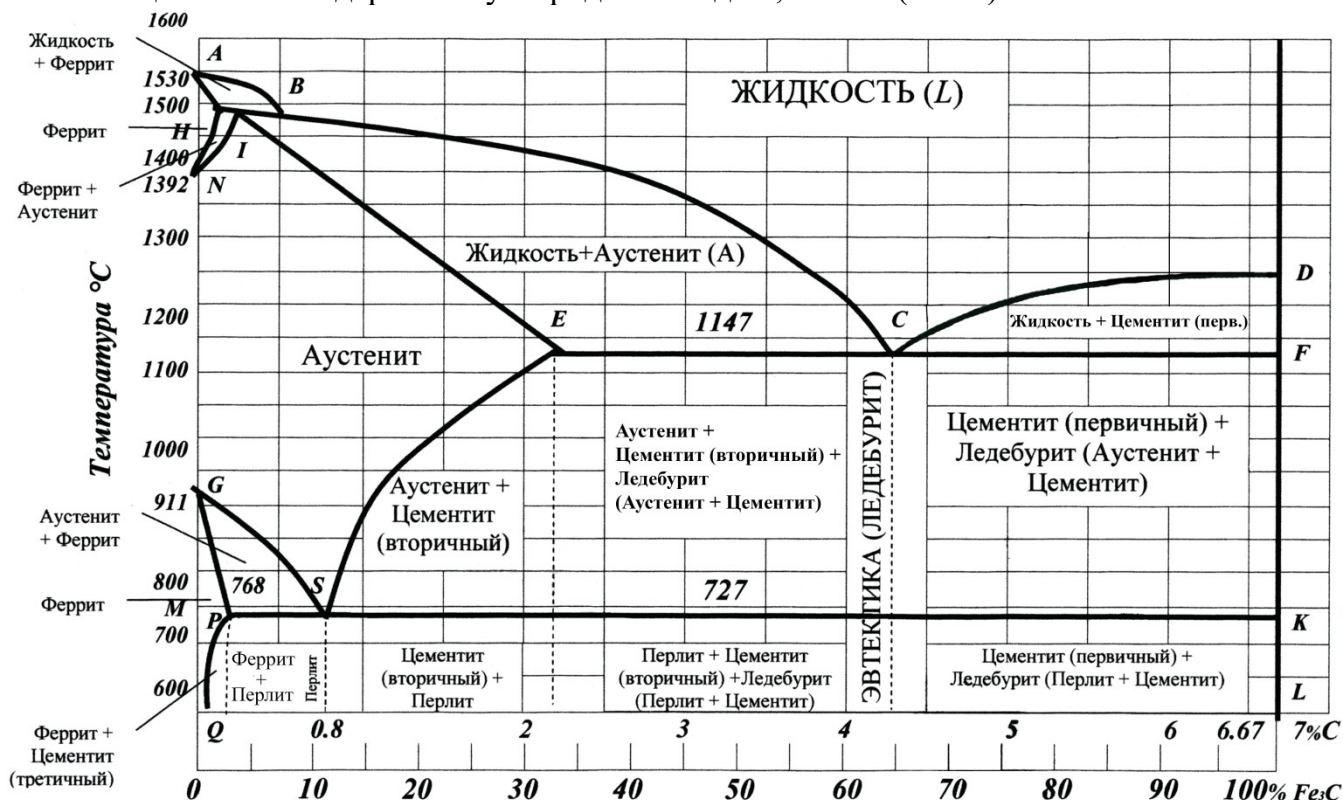


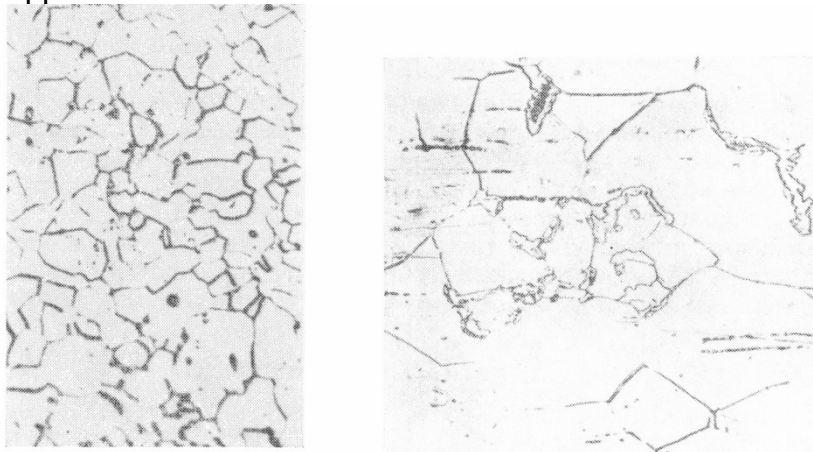
Рис. 1. Диаграмма состояния железо – цементит

Сплавы с содержанием до 0,02% С называются техническим железом, от 0,02 до 0,8% С – доэвтектоидными сталями, и от 0,8 до 2,14% С – заэвтектоидными сталями. Сплав с содержанием 0,8% С называется эвтектоидной сталью.

Растворимость углерода в α -железе переменная (линия PQ на диаграмме железо - цементит). С понижением температуры растворимость углерода понижается. При 27° С в α -железе растворяется 0,02% С, а при комнатной температуре 0,006% С. Поэтому сплавы железа с содержанием до 0,006% имеют структуру только твёрдого раствора углерода в α -железе, т.е. феррита. На рис. 2 (а) показана микроструктура феррита.

В сплавах с содержанием от 0,006 до 0,02% С в связи с понижением растворимости углерода в α -железе при понижении температуры из феррита

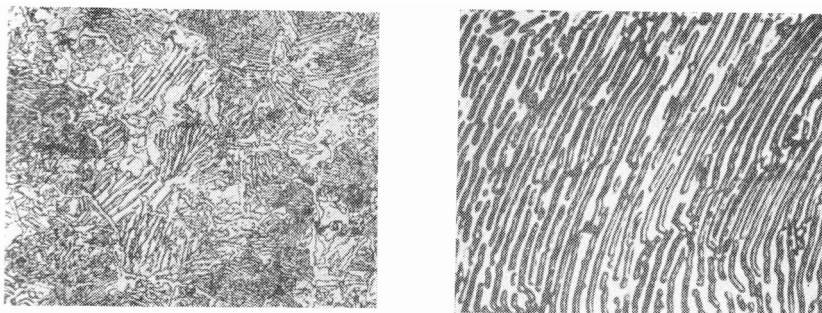
выделяется цементит, называемый третичным. Этот цементит выделяется по границам зёрен феррита.



а)б)

Рис. 1. Железо – феррит (а), увеличение $\times 200$; сталь с 0,015% С (б) – феррит и третичный цементит, увеличение $\times 500$.

Микроструктура доэвтектоидной стали (до 0,8% С) состоит из перлита и феррита. Микроструктура эвтектоидной стали (0,8% С) состоит из одного перлита – механической смеси феррита и цементита, получающаяся в результате распада аустенита с 0,8% С (Рис. 2). Аустенит это твёрдый раствор углерода в γ -железе – высокотемпературная фаза. Микроструктура заэвтектоидной стали (более 0,8% С) состоит из перлита и вторичного цементита.



а) $\times 500$ б) $\times 1000$

Рис. 2. Эвтектоидная сталь с 0,8% С - перлит

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит – в виде полей полосчатого строения, более тёмных, чем феррит. (Рис.3). Чем больше увеличение, тем более отчетливо видно полосчатое строение перлита. При малых увеличениях перлит наблюдается в виде тёмных зёрен.

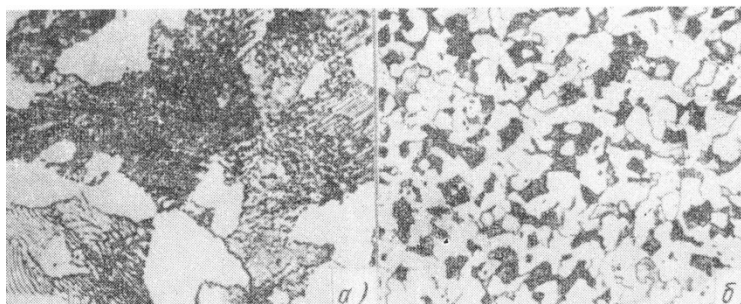


Рис.3. Доэвтектоидная сталь – феррит и перлит; а- t_{600} ;б - t_{200} .

Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания углерода. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а количество перлита увеличивается. (Рис.4).



Рис.4. Доэвтектоидные стали – феррит и перлит (t_{500}): а – 0,2% С, б – 0,4% С, в – 0,6% С.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего по микроструктуре нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом – F_n . Тогда содержание углерода можно определить по формуле:

$$C = \frac{F_n \cdot 0.8}{100} \%,$$

где F_n – площадь, занимаемая перлитом в %.

Заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении от температуры A_{cm} (линия SE) до температуры Ar_1 (линия PSK) (см. рис. 1) вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените.

При медленном охлаждении вторичный цементит выделяется в виде сетки по границам аустенитных зёрен. При достижении температуры Ar_1 аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения Заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита.



Рис. 5. Заэвтектоидная сталь с 1,2% С – перлит и цементит вторичный (t_{500}).

Чем больше углерода в эвтектоидной стали, тем более массивной получается цементитная сетка.

Микроструктура белых чугунов.

В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии, т.е. в виде цементита. Белый чугун в зависимости от содержания углерода разделяется на доэвтектический (от 2,14 до 4,3% С), эвтектический (4,3% С) и заэвтектический (от 4,3 до 6,67% С).

Микроструктура эвтектического белого чугуна состоит только из одного ледебурита (цементитной эвтектики), образующегося при 1147°С при эвтектической кристаллизации жидкого сплава с содержанием 4,3% С и состоящего (при 1147° С) из эвтектического цементита и аустенита, содержащего 2,14% С.

При 727°С ледебулит состоит из цементита (эвтектического и вторичного) и аустенита с содержанием 0,8% С. При этой температуре аустенит превращается в перлит. Таким образом, после полного охлаждения ледебулит состоит из цементита и перлита (Рис.6).



Рис. 6. Эвтектический белый чугун с 4,3% С – ледебурит ($\times 500$).

Доэвтектический белый чугун после полного охлаждения имеет следующую структуру: ледебурит + перлит + вторичный цементит. Вторичный цементит выделяется из аустенита из-за уменьшения растворимости углерода с понижением температуры (с 2,14 % при 1147°С до 0,8 % при 727°С) (Рис.7 а).

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из ледебурита и первичного цементита (Рис. 7 б).

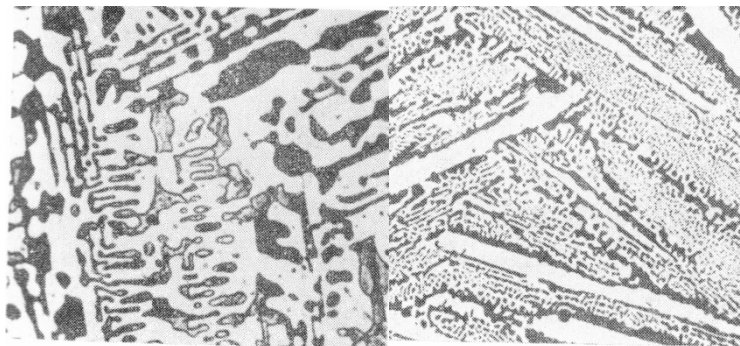


Рис. 7. Микроструктуры белого доэвтектического(а), и заэвтектического (б) чугуна ($\times 500$).

Контрольные вопросы:

1. Какую структуру имеет сталь, содержащая 0,5 % С, 0,01% С, 0,1% С?

2. Какую структуру имеет сталь, содержащая 1,0 % C, 0,8 % C?
3. Какой чугун имеет структуру ледобурит?
4. Какая структура у чугуна, содержащего 3,4% углерода?
5. Как определить примерное содержание углерода в доэвтектидной стали?

Практическая работа №6

Тема 4. Основы термической обработки.

Термическая обработка углеродистых сталей. Технологические режимы термообработки.

Цель работы: ознакомиться с методикой проведения термообработки стали; научиться по заданному химическому составу и твёрдости стали определять виды термообработки, научиться определять температуру нагрева, время нагрева и скорость охлаждения сталей при термообработке.

Основные параметры термообработки

Термическая обработка - это технологический процесс, состоящий из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью получения заданных свойств путём изменения структуры сплава без изменения его состава, формы и размеров изделия.

На стадии изготовления деталей необходимо, чтобы металл был пластичным, нетвердым, имел хорошую обрабатываемость резанием.

В готовых изделиях всегда желательно иметь материал максимально прочным, вязким, с необходимой твердостью.

Такие изменения в свойствах материала позволяет сделать термообработка. Любой процесс термообработки может быть описан графиком в координатах температура – время и включает нагрев, выдержку и охлаждение. При термообработке протекают фазовые превращения, которые определяют вид термической обработки.

Температура нагрева стали зависит от положения ее критических точек и выбирается по диаграмме состояния Fe - Fe₃C в зависимости от вида термической обработки. Критические точки (температуры фазовых превращений) определяют: линия PSK - точку A₁, GS - точку A₃ и SE - точку A_m. Нижняя критическая точка A₁, соответствует превращению A → П при 727°C. Верхняя критическая точка соответствует началу выделения феррита из аустенита (при охлаждении) или концу растворения феррита в аустените (при нагреве). Температура линии SE, соответствующая началу выделения вторичного цементита из аустенита, обозначается A_m.

Время нагрева до заданной температуры зависит, главным образом, от температуры нагрева, степени легированности стали, конфигурации изделий, мощности и типа печи, величины садки, способа укладки изделий и других факторов.

Выдержка при температуре термообработки необходима для завершения фазовых превращений, происходящих в металле, выравнивания температуры по

всему объему детали. Продолжительность выдержки зависит от химического состава стали и для углеродистых и низколегированных сталей определяется из расчета 60 с. на один миллиметр сечения.

Скорость охлаждения зависит, главным образом, от химического состава стали, а также от твердости, которую необходимо получить.

Самыми распространенными видами термообработки сталей являются закалка и отпуск. Производятся с целью упрочнения изделий.

Закалка сталей

ЗАКАЛКОЙ называется фиксация при комнатной температуре высоко-температурного состояния сплава. Основная цель закалки - получение высокой твердости, прочности и износостойкости. Для достижения этой цели стали нагревают до температур на 30 - 50 °С выше линии GSK (рис. 1), выдерживают определенное время при этой температуре и затем быстро охлаждают.

Процессы, происходящие в сплаве на различных стадиях закалки, можно рассмотреть на примере эвтектоидной стали У8. В исходном отожженном состоянии эта сталь имеет структуру перлита (эвтектоидная смесь феррита и цементита).

При достижении температуры A_1 (727 °С) произойдет поли морфное превращение, т.е. перестройка кристаллической решетки феррита (ОЦК) в решетку аустенита (ГЦК), вследствие чего растворимость углерода резко возрастает. В процессе выдержки весь цементит растворится в аустените и концентрация углерода в нем достигнет содержания углерода в стали, т.е. 0,8 %. Следующий этап - охлаждение стали из аустенитной области до комнатной температуры - является определяющим при закалке. При охлаждении стали ниже температуры A_1 происходит обратное полиморфное превращение, т.е. решетка аустенита (ГЦК) перестраивается в решетку феррита (ОЦК) и при этом растворимость углерода уменьшается в 40 раз (с 0,8 до 0,02). Если охлаждение происходит медленно, то "лишний" углерод успевает выйти из решетки феррита и образовать цементит. В результате формируется структура феррито-цементитной смеси. Если же охлаждение производится быстро, то после полиморфного превращения углерод остается вследствие подавления диффузионных процессов в решетке ОЦК. Образуется пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе, который называется МАРТЕНСИТОМ.

Перенасыщенность мартенсита углеродом создает в его решетке большие внутренние напряжения, которые приводят к искажению ее формы и превращению из кубической в тетрагональную. Уровень внутренних напряжений оценивается степенью тетрагональности, т.е. отношением длины ребра c параллелепипеда к ребру a .

Чем выше степень тетрагональности решетки мартенсита, тем выше его твердость. Степень тетрагональности, в свою очередь, будет зависеть от содержания углерода в стали.

Получить структуру мартенсита (или закалить сталь) можно только в том случае, если обеспечить скорость охлаждения больше или равную критической ($V_{кр}$) (рис 5.3), чтобы не успели пройти процессы распада аустенита в верхнем районе температур.

КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ закали или минимальная скорость охлаждения ($V_{кр}$) - это скорость, при которой аустенит переходит в мартенсит. Если же скорости охлаждения будут меньше $V_{кр}$, при распаде аустенита получим феррито-цементитные смеси различной дисперсности ТРООСТИТ, СОРБИТ И ПЕРЛИТ или промежуточные структуры БЕЙНИТА верхнего и БЕЙНИТА нижнего

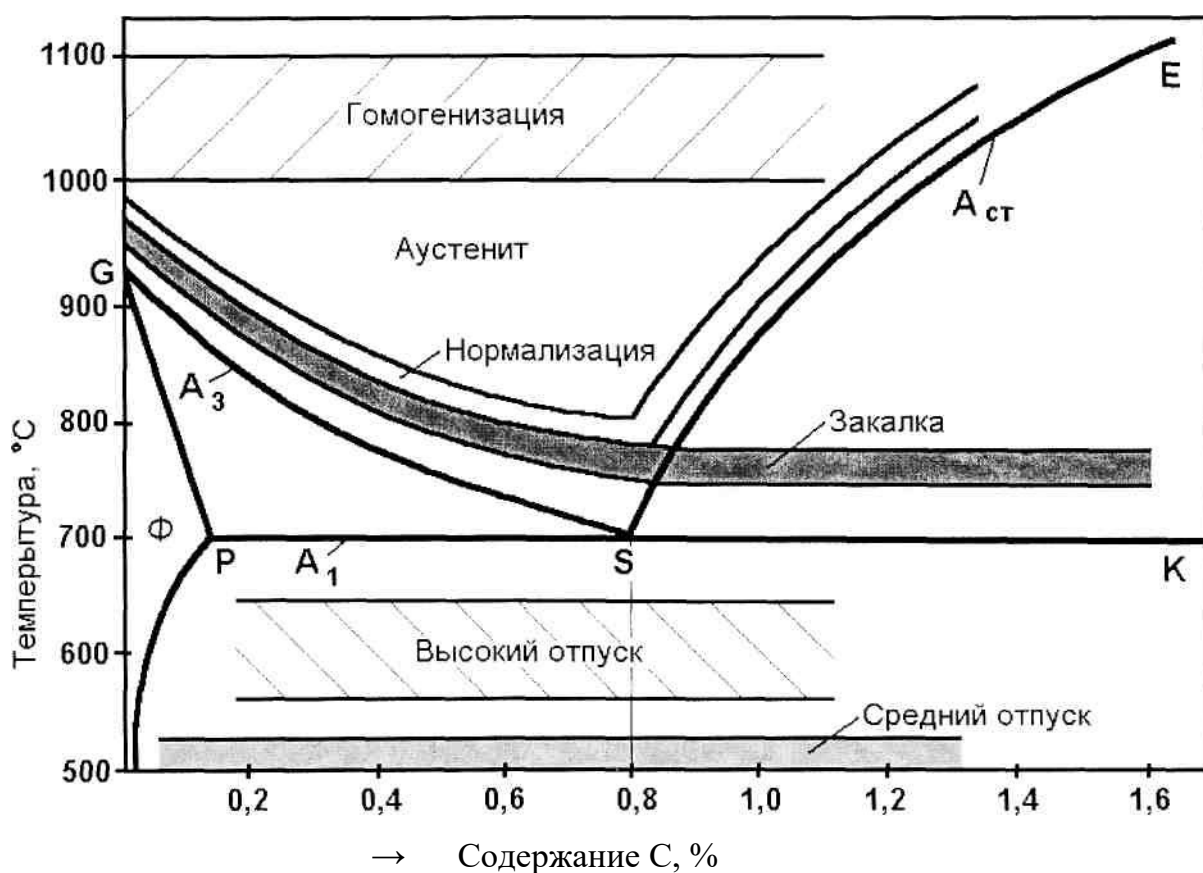
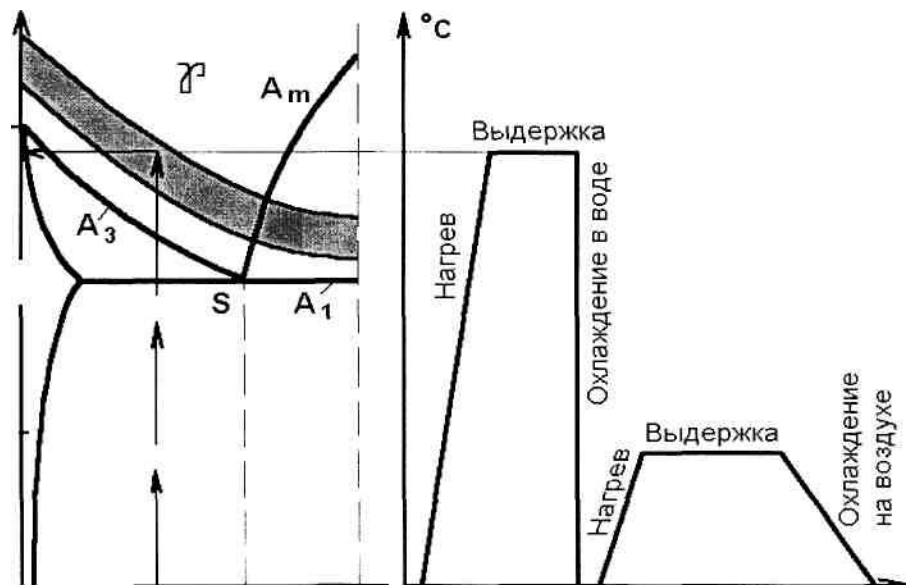


Рис. 1. Диапазон оптимальных температур нагрева при различных видах термообработки

Перлит (грубодисперсионная смесь феррита и цементита) может быть получен при очень медленных скоростях охлаждения (на рис. 3 это скорость V_1). Такие скорости охлаждения характерны для отжига (охлаждение вместе с печью).

При охлаждении углеродистых сталей на воздухе (вид термообработки - нормализация) со скоростями V_2 и V_3 получаем структуры сорбита и троостита. Сорбит - механическая смесь феррита и цементита средней дисперсности. Троостит - мелкодисперсная феррито-цементитная смесь. Свойства сорбита и троостита занимают промежуточное положение между свойствами перлита (П) и мартенсита (М).

Практической целью закалки является получение максимальной прочности и твердости стали. Достигается эта цель при следующих режимах: нагрев стали на 30 - 50°C выше линии GSK, выдержка при этой температуре и охлаждение со скоростью $>V_{кр}$.



По температуре нагрева различают полную и неполную закалку. Полная закалка осуществляется из аустенитной области. После охлаждения с критической скоростью закалки у всех углеродистых сталей образуется структура мартенсита. Полной закалке подвергают изделия из доэвтектоидных сталей, при этом исключается образование мягких ферритных включений.

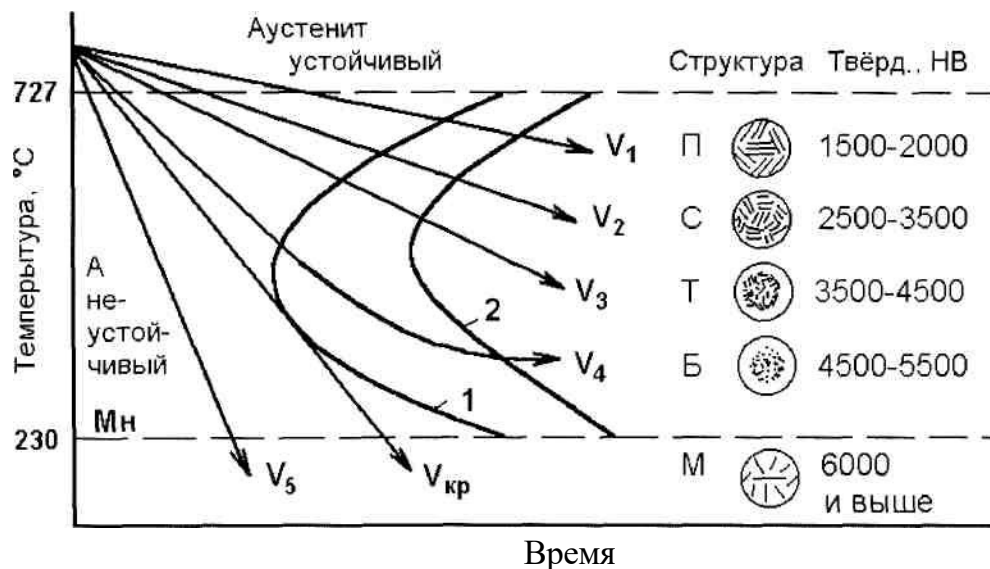


Рис. 3. Диаграмма изотермического распада аустенита

эвтектоидной стали со схемами микроструктур и их примерной твёрдостью: 1 - кривая начала диффузионного распада аустенита; 2 - кривая конца диффузионного распада аустенита; Мн - линия начала мартенситного превращения; $V_{кр}$ - критическая скорость охлаждения

Неполная закалка - закалка из промежуточных, двухфазных областей ($A + \Phi$), ($A + \text{Ц}_{\text{II}}$). В результате охлаждения с критической скоростью в доэвтектоидных сталях образуется структура $\Phi + M$, а в заэвтектоидных - $M + \text{Ц}_{\text{II}}$. Неполной закалке подвергают инструмент из заэвтектоидной стали, поскольку наличие включений вторичного цементита увеличивает твердость закаленного инструмента, т.к. цементит по твердости превосходит мартенсит.

Отпуск сталей

К важнейшим механическим свойствам сталей наряду с твердостью относятся и пластичность, которая после закалки очень мала. Структура резко неравновесная, возникают большие закалочные напряжения. Чтобы снять закалочные напряжения и получить оптимальное сочетание свойств для различных групп деталей, обычно после закалки проводят отпуск стали.

Отпуском стали является термообработка, состоящая из нагрева закаленной стали до температуры ниже линии PSK (критическая точка A_1), выдержки при этой температуре и дальнейшего произвольного охлаждения. Этот процесс связан с изменением строения и свойств закаленной стали.

При отпуске происходит распад мартенсита, переход к более устойчивому состоянию. При этом повышается пластичность, вязкость, снижается твердость и уменьшаются остаточные напряжения в стали. Механизм протекающих превращений при отпуске сталей - диффузионный, он определяется температурой и продолжительностью нагрева.

Первое превращение, протекающее в интервале 80 - 200 °C, соответствует выделению из мартенсита тонких пластин ϵ , - карбида Fe_2C . Выделение углерода из решетки приводит к уменьшению степени ее тетрагональности. Полученный при этом мартенсит, имеющий степень тетрагональности, близкую к 1, называется отпущенным.

При нагреве закаленной стали выше 300 °C происходит полное выделение углерода из раствора и снятие внутренних напряжений. Сталь состоит из мелкодисперсной смеси феррита и цементита (троостит отпуска).

При нагреве до температуры выше 480 °C идет процесс коагуляции (укрупнения) карбидных частиц и максимальное снятие остаточных напряжений. Формируется структура сорбита отпуска.

В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск проводят в интервале температур 180 - 250 °C для инструментов - изделий, которым необходимы высокая твердость и износостойкость. Получаемая структура $M_{\text{отп}}$ или $M_{\text{отп}} + \text{Ц}_{\text{II}}$ (мартенсит отпуска + цементит вторичный).

Средний отпуск (350 - 500 °C) применяется для рессор, пружин, штампов и другого ударного инструмента, т.е. для тех изделий, где требуется достаточная твердость и высокая упругость. Получаемая структура - $T_{\text{отп}}$ (троостит отпуска).

Высокий отпуск (500 - 650 °C) полностью устраняет внутренние напряжения. Достигается наилучший комплекс механических свойств: повышенная прочность, вязкость и пластичность. Применяется для изделий из конструкционных сталей, подверженных воздействию высоких напряжений. Структура - $S_{\text{отп}}$ (сорбит отпуска).

Термообработку, заключающуюся в закалке на мартенсит и последующем высоком отпуске, называют *улучшением*.

Контрольные вопросы

1. Что такое мартенсит?
2. Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит в стали после закалки?
3. Что такое критическая скорость закалки?
4. Как выбирается температура нагрева под закалку для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей?
5. Что такое полная и неполная закалка?
6. Почему для доэвтектоидных сталей применяется полная, а для заэвтектоидных - неполная?
7. Как влияет содержание углерода в доэвтектоидной стали на температуру нагрева под закалку?
8. В чем отличие структуры сталей 45, У8 и У12, закаленных с температуры 760° С?
9. Какое состояние сплава должно предшествовать операции отпуска?
10. Какие фазовые превращения протекают при отпуске закаленных сплавов?
11. При каких температурах проводится низкий, средний и высокий отпуск?
12. Какая структура образуется после низкого, среднего и высокого отпуска?
13. Для каких изделий проводится низкий, средний и высокий.
14. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?

Практическая работа №7

Тема 5. Классификация, маркировка и области применения сталей и чугунов.

Определение структуры углеродистых сталей по диаграмме железо – углерод.

Микроструктура технического железа и углеродистых сталей для равновесных условий характеризуется нижней левой частью диаграммы состояния железо – цементит. Содержание углерода в них до 2,14% С. (Рис.1).

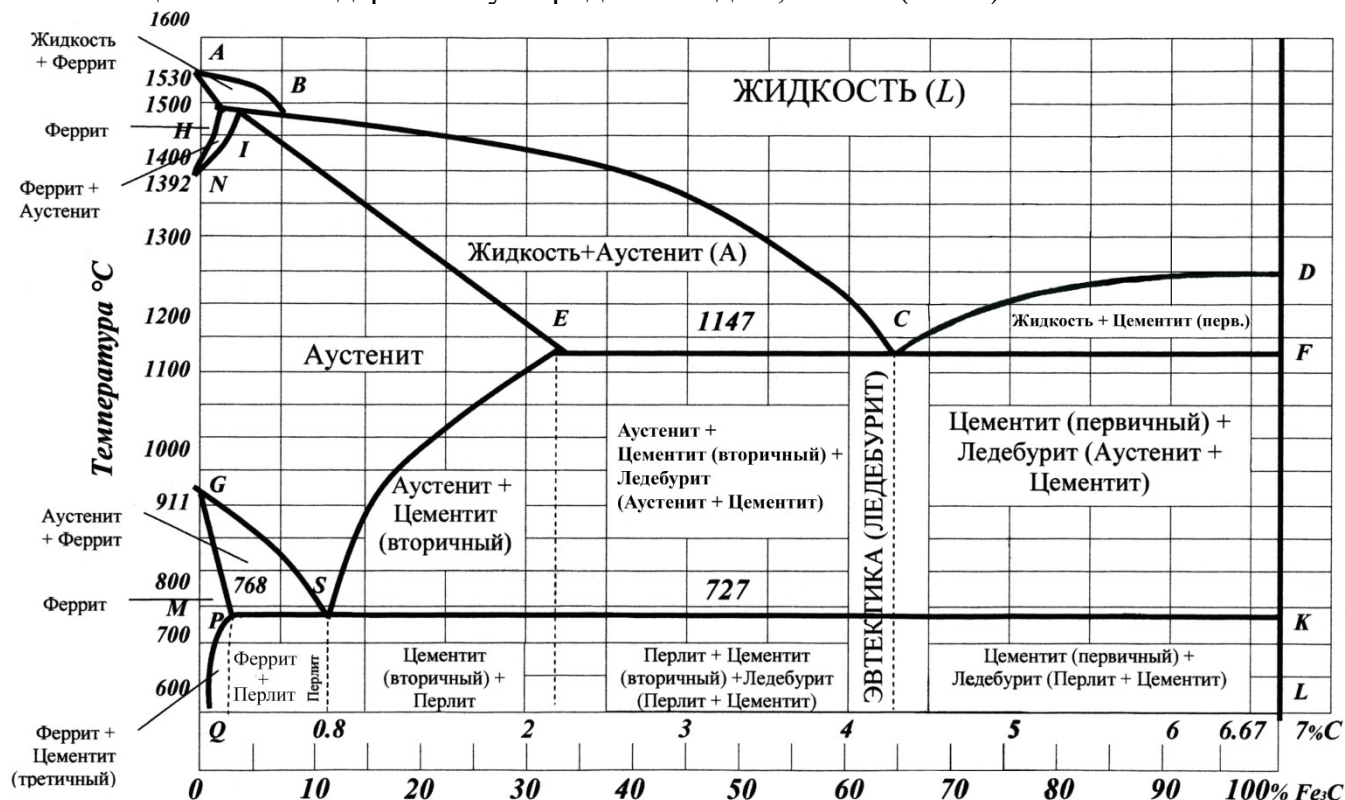
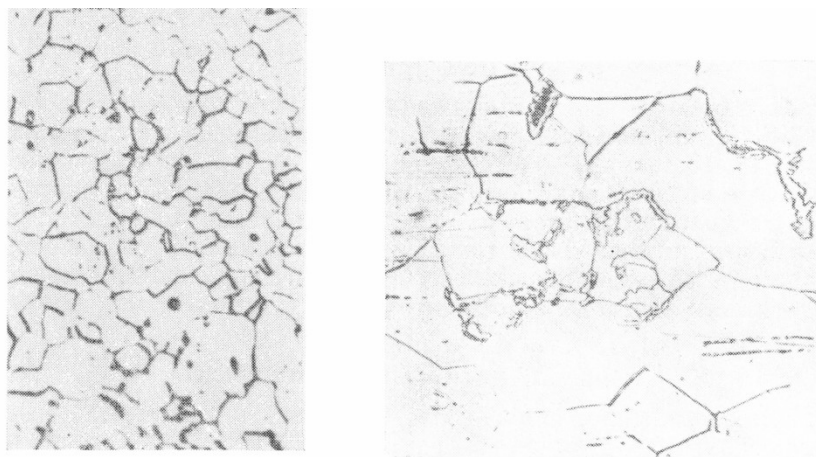


Рис. 1. Диаграмма состояния железо – цементит

Сплавы с содержанием до 0,02% С называются техническим железом, от 0,02 до 0,8% С – доэвтектоидными сталями, и от 0,8 до 2,14% С – заэвтектоидными сталями. Сплав с содержанием 0,8% С называется эвтектоидной сталью.

Растворимость углерода в α -железе переменная (линия PQ на диаграмме железо - цементит). С понижением температуры растворимость углерода понижается. При 27° С в α -железе растворяется 0,02% С, а при комнатной температуре 0,006% С. Поэтому сплавы железа с содержанием до 0,006% имеют структуру только твёрдого раствора углерода в α -железе, т.е. феррита. На рис. 2 (а) показана микроструктура феррита.

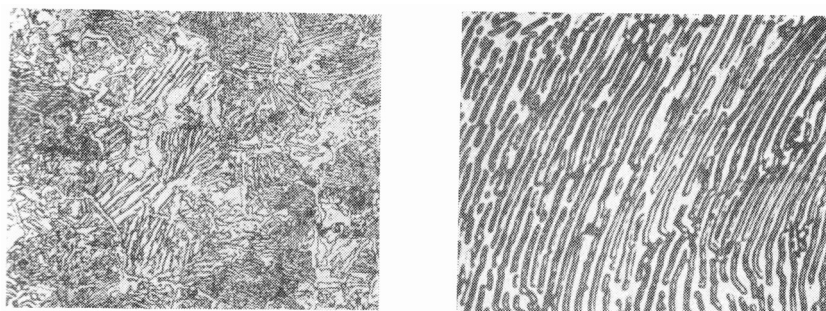
В сплавах с содержанием от 0,006 до 0,02% С в связи с понижением растворимости углерода в α -железе при понижении температуры из феррита выделяется цементит, называемый третичным. Этот цементит выделяется по границам зёрен феррита.



а)б)

Рис. 1. Железо – феррит (а), увеличение $\times 200$; сталь с 0,015% С (б) – феррит и третичный цементит, увеличение $\times 500$.

Микроструктура доэвтектоидной стали (до 0,8% С) состоит из перлита и феррита. Микроструктура эвтектоидной стали (0,8% С) состоит из одного перлита – механической смеси феррита и цементита, получающаяся в результате распада аустенита с 0,8% С (Рис. 2). Аустенит это твёрдый раствор углерода в γ -железе – высокотемпературная фаза. Микроструктура заэвтектоидной стали (более 0,8% С) состоит из перлита и вторичного цементита.



а) $\times 500$ б) $\times 1000$

Рис. 2. Эвтектоидная сталь с 0,8% С - перлит

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит – в виде полей полосчатого строения, более тёмных, чем феррит. (Рис.3). Чем больше увеличение, тем более отчетливо видно полосчатое строение перлита. При малых увеличениях перлит наблюдается в виде тёмных зёрен.

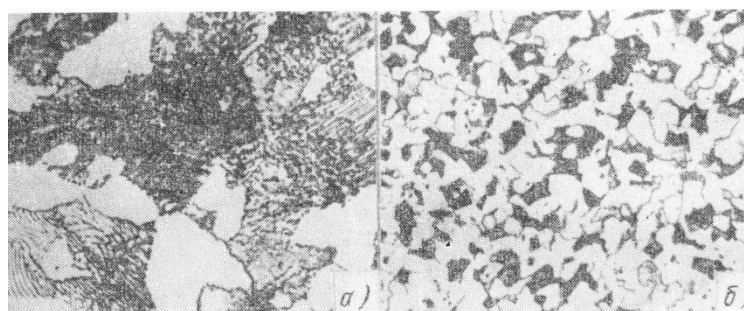


Рис.3. Доэвтектоидная сталь – феррит и перлит; а- $\times 600$;б - $\times 200$.

Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания углерода. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а количество перлита увеличивается. (Рис.4).



Рис.4. Доэвтектоидные стали – феррит и перлит ($\times 500$): а – 0,2% С, б – 0,4% С, в – 0,6% С.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего по микроструктуре нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом – F_n . Тогда содержание углерода можно определить по формуле:

$$C = \frac{F_n \cdot 0.8}{100} \%,$$

где F_n – площадь, занимаемая перлитом в %.

Заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении от температуры A_{cm} (линия SE) до температуры Ar_1 (линия PSK) (см. рис. 1) вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените.

При медленном охлаждении вторичный цементит выделяется в виде сетки по границам аустенитных зёрен. При достижении температуры Ar_1 аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения Заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита.



Рис. 5. Заэвтектоидная сталь с 1,2% С – перлит и цементит вторичный ($\times 500$).

Чем больше углерода в эвтектоидной стали, тем более массивной получается цементитная сетка.

:

- 1.Какую структуру имеет сталь, содержащая 0,5 % C, 0,01% C, 0,1% C?
- 2.Какую структуру имеет сталь, содержащая 1,0 % C, 0,8 % C?
- 3.Какую структуру имеет сталь, содержащая 0,3%, 0,45%.

Практическая работа №8

Тема 6. Цветные металлы и сплавы

Производство металлов и сплавов.

Цель работы: Изучить основные способы получения металлов и сплавов.

Теоретические основы

Способы выплавки металлов и сплавов зависят от выплавляемого металла.

Для осуществления металлургических процессов выплавки металлов необходимы следующие исходные материалы, взятые в рассчитанном массовом соотношении, так называемая шихта.

Промышленная руда – природное минеральное сырье, содержащее металлы или их соединения в концентрациях и формах, приемлемых для промышленной переработки. Минералы подразделяют на рудные и пустую породу.

Железная руда в качестве рудного материала может содержать гематит Fe_2O_3 - 50-60% Fe (руда – красный железняк), магнетит Fe_3O_4 – 55-65% (руда – магнитный железняк) и др.

Топливо является не только источником теплоты, но и реагентом, восстанавливающим металл из его оксидов и других соединений. Различают две разновидности топлива:

а) естественное (дрова, горючие сланцы, торф, уголь, нефть, природный газ). Его сжигают без предварительной обработки.

б) искусственное (бензин, керосин, мазут, генераторный и коксовый газ, древесный уголь, торфяной и каменноугольный кокс и др.). Искусственное топливо перерабатывается из естественного химическим или тепловым способом.

Легирующие добавки – это вещества, специально вводимые в сплав для придания ему особых свойств (прочности, пластичности, коррозионной стойкости, жаропрочности, жаростойкости, увеличения прокаливаемости и ударной вязкости),

Модификаторы. Модифицирование заключается во введении в расплав небольших добавок (0,01 – 0,1%) веществ. Оптимально изменяющих форму и размеры структурных составляющих, а через них и структурно-чувствительные свойства сплава. Различают два механизма воздействия модификаторов на процесс кристаллизации (так называемые два вида модифицирования).

1.Образование искусственных центров кристаллизации с последующей сфероидизацией их формы

2. Формирование барьеров на пути растущих кристаллов, тормозящих их рост.

Флюсы обеспечивают сплавление пустой породы руды, вредных примесей и золы топлива в относительно легкоплавкие шлаки. Шлаки затем удаляются из печного пространства.

Раскислители – это элементы или соединения, вводимые в расплав для удаления растворенного в нем кислорода и восстановления оксидов данного металла. Широко применяется внутреннее раскисление, заключающееся во введении в расплав специальных добавок, связывающих кислород в нерастворимые в расплаве соединения: $Me + O = MeO$.

Огнеупорные материалы применяют для создания защитной внутренней облицовки (футеровки) металлургических печей, разливочных ковшей, химических аппаратов, ванн и пр. они должны обладать следующими свойствами: высокой температурой размягчения, хорошей химической стойкостью и постоянством объема при резких перепадах температур. Огнеупоры подразделяют на кислые, основные, нейтральные.

Особенности плавки металлов. Шихту в печь загружают последовательно: сначала вещества, составляющие основную долю шихты, а также тугоплавкие материалы. Микролегирование осуществляют с помощью лигатур (вспомогательных сплавов). Обязательным условием хорошего растворения добавок является перемешивание. Модифицирование расплава – заключительная операция.

Важную роль в процессе литья играет рафинирование (очищение) расплава от растворенных газов (кислорода, азота, водорода) и неметаллических включений (оксидов, шлаков, разрушенной футеровки). Удаление металлических включений осуществляют отстаиванием расплава, рафинирование флюсами, а также фильтрованием.

Существует несколько основных способов получения металлов и сплавов: пирометрический (выплавка с использованием топлива), гидрометаллургический (восстановление металлов из рудных соединений), электрометаллургический (производство металлов с использованием электроэнергии).

Черные металлы и сплавы – сталь и чугун выплавляют с использованием кокса – искусственного топлива из каменного угля, нагретого без доступа кислорода при температуре $1000 - 1200^{\circ}\text{C}$ и кислорода воздуха. Это доменное производство (чугун) и мартеновское, конверторное производство (сталь).

Процессы выплавки стали осуществляются в несколько этапов.

1. Расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла происходит под воздействием теплоты, подводимой извне или образующейся при окислении примесей Fe. На этом этапе температура металла невелика, интенсивно происходит окисление железа, т.к. оно в наибольшем количестве содержится в жидком металле, а также окисление примесей (Si, P, Mn) по реакциям: $2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$; $2FeO + 2Si \rightarrow Fe + SiO_2$; $FeO + Mn \rightarrow Fe + MnO$; $5FeO + 2P \rightarrow 5Fe + P_2O_5$; $FeO + C \rightarrow CO + Fe$.

Наиболее важная задача этого этапа: *удаление фосфора* - одной из вредных примесей стали. Присутствие оксида кальция CaO, являющегося более сильным основанием, чем оксид железа FeO, обеспечивает протекание реакции: $2P + 5FeO + 4CaO \rightarrow (CaO)_4P_2O_5 + 5Fe$ и переводит фосфор в шлак.

Для удаления фосфора из металла необходимы невысокие температуры ванны металла и шлака, но достаточное количество в шлаке окиси железа. Для

повышения содержания FeO в шлаке в сталеплавильную печь в этот период плавки добавляют окалину, железную руду, наводя железистый шлак.

По мере удаления фосфора из металла содержание фосфора в шлаке увеличивается. Изменяя состав шлака, можно менять соотношения между количеством примесей в металле и шлаке так, что нежелательные примеси будут удаляться из металла в шлак. Убирая шлак с поверхности и наводя новый шлак путем введения флюса требуемого состава, можно удалять вредные примеси (S, P) из металла. Поэтому регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическими процессами.

Содержание серы и фосфора в сталях строго ограничено и не должно превышать 0,04 % каждого из элементов. Современные методы выплавки стали не обеспечивают полного удаления серы и фосфора, в связи с чем рекомендуется использовать исходную шихту с минимальным его содержанием.

3. Раскисление стали.

Раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород - вредная примесь, т.к. понижает механические свойства, особенно при высоких температурах.

При раскислении стали содержание кислорода в металле снижается до уровня, исключающего возможность окислительных реакций в слитке. Образующиеся при этом твердые, жидкие или газообразные продукты раскисления необходимо удалить до затвердевания слитка, т.к. они снижают качество стали. Содержание кислорода в стали после раскисления снижается на порядок.

К основным стадиям процесса раскисления относятся: *растворение раскислителя в жидком металле, реакции между кислородом, и раскислителем, выделение продуктов раскисления.*

Для раскисления и легирования стали применяют *специальные чугуны* или *доменные ферросплавы*, составляющие 2-3 % всего производства чугуна. Ферросплавы - это сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. К ним относятся: *ферросилиций* (до 18 % Si до 3 % Mn), *ферромарганец* (до 85 % Mn и до 2 % Si), *зеркальный чугун* (10-25 % Mn и до 2 % Si).

Основные способы выплавки стали

Конвертерные способы

Изобретателем конвертерного способа получения стали считают англичанина Г. Бессемера, впервые предложившего и осуществившего в 1854-1856 гг. получение стали без расхода топлива, путем продувки воздуха через расплавленный чугун (*бессемеровский процесс*). Перед применением ранее способами получения стали бессемеровский способ имел два неоспоримых преимущества - очень высокую производительность, отсутствие топлива. Конвертеры бессемеровского способа имели кислую (динасовую) футеровку, поэтому не все чугуны могли в них перерабатываться. Получаемая сталь загрязнялась серой, фосфором и была хрупка из-за насыщения ее азотом, содержащимся в воздухе.

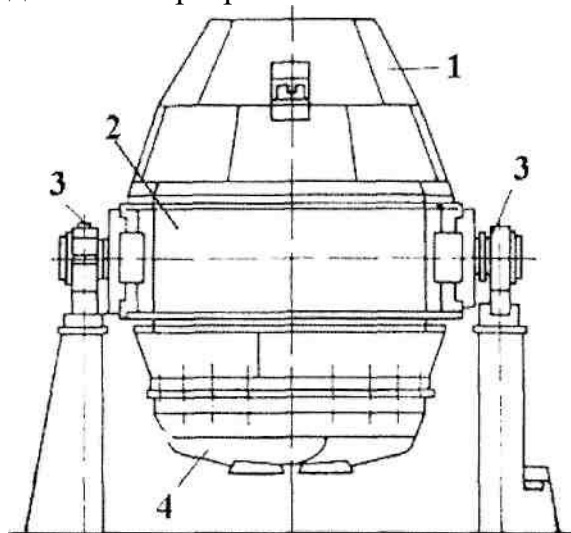
Бессемеровский процесс развил в 1878 г. английский металлург С. Дж. Томас. Он внедрил в практику основную футеровку конвертеров (доломитом). Такая футеровка позволяла удалять из чугуна фосфор и частично серу (*томазовский процесс*). Недостатки этого процесса - повышенное содержание азота и кислорода, большая степень загрязнения шлаковыми неметаллическими включениями.

В настоящее время получили широкое распространение конвертерные способы, где для продувки вместо воздуха применяют кислород (*кислородно-конвертерное производство*).

Кислородно-конвертерный процесс

Конвертером называют большую стальную реторту, футерованную огнеупором. Конвертер имеет цилиндрическую часть, легко заменяемое днище и конусообразную горловину. Рабочее пространство - цилиндрическая часть конвертера крепится в литом, стальном кольце с двумя цапфами. В процессе работы конвертер может проворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на 360° при помощи приводных механизмов (спецпривода) для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Кислородный конвертер с верхней продувкой представляет собой грушевидный сосуд (с открытой верхней горловиной) диаметром около 6 м и высотой около 10 м, облицованный изнутри основным кирпичом. В кислородно-конвертерном производстве преобладают конвертеры емкостью 100-350 т.



В вертикальном положении конвертера его горловина находится под вытяжным колпаком дымоотводящего камина. Боковое выпускное отверстие, имеющееся с одной стороны, позволяет отделить металл от шлака при сливе.

Мартеновский способ

В 1864 г. во Франции инженеру П. Мартену после многочисленных попыток удалось получить на поду пламенной печи жидкую сталь, до этого этим путем получали сталь в тестообразном состоянии. П. Мартен применил для сталеплавильной печи

принцип регенерации тепла отходящих пенных газов для подогрева топлива и воздуха, подаваемого в печь.

Современные мартеновские печи отапливают обычно смесью доменного и коксовального (иногда природного или мазута) газов и оборудуют 4 регенераторами с насадками. Продукты горения из рабочего пространства печи направляются в одну пару регенерата и нагревают их садку, затем впускаются в дымовую трубу. В это время газовое топливо и воздух подают в печь через вторую пару регенераторов, насадка которых была нагрета раньше. Через некоторое время с помощью автоматически переключающихся клапанов меняется направление входа печных газов и подачи топлива.

Мартеновские печи строят разной вместимостью (10-500т). Мартеновская печь имеет рабочее пространство, ограниченное снизу подиной, сверху сводом, а с боков - передней и задней стенками. Загружают в печь твердые материалы через завалочные окна.

Газ подают в печь по центральному каналу, воздух по двум боковым. Сходясь в рабочем пространстве печи, эти каналы образуют так называемую головку печи, формирующую газовое пламя. Образовавшийся факел направлен на шихту. Факел имеет температуру 1750-1800°C и нагревают рабочее пространство печи и шихту, в результате чего происходит окисление примесей шихты при плавке.

Отходящие газы, имеющие температуру 1500-1600°C, проходят очистные устройства и направляются в регенератор, где нагревают футеровку (насадку) до 1250-1280°C. Когда футеровка достаточно нагрета, направление потоков через печь меняется на обратное. Поступающие воздух и газ воспринимают тепло от кирпичей насадки, а отходящие газы нагревают вторую камеру. Таким образом, достигается экономия топлива и повышается рабочая температура.

Выпуск стали и шлака из мартеновской печи после завершения плавки проводят через летку в задней продольной стенке печи. На время плавки летку заделывают магнезитовым порошком и огнеупорной глиной.

Мартеновская печь - крупное сооружение, и процесс выплавки стали занимает довольно много времени (в среднем 12-14 часов). На загрузку печи рудой, металлоломом и чугуном уходит около 5 часов, на расплавление - 4 часа и на рафинирование и корректировку окончательного состава стали - еще 3-4. Несмотря на резкое сокращение доли мартеновского металла в общем объеме производства стали, роль мартеновского процесса в черной металлургии многих стран еще достаточно высока. Использование кислорода, природного газа, огнеупоров высокого качества позволяет значительно интенсифицировать мартеновский процесс. Вместе с тем строительство новых мартеновских печей повсеместно прекращено.

Мартеновским способом в основном выплавляют высококачественную углеродистую и низколегированную сталь. Широко используют мартеновские способы производства для выплавки судостроительных сталей (например корпусных).

Мартеновский способ получил широкое применение благодаря возможности использования различного сырья и разнообразного топлива. Различают следующие

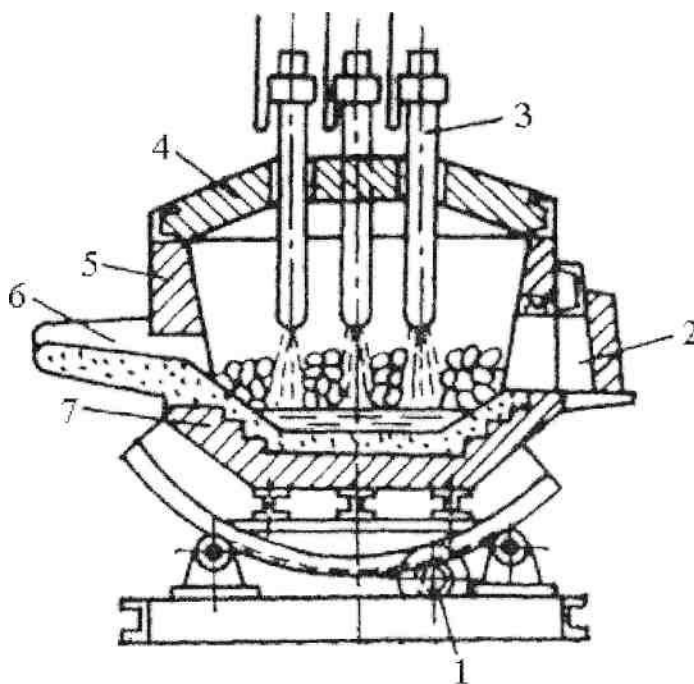
разновидности мартеновского производства в зависимости от используемого сырья: *скрап-процесс* и *скрап-рудный процесс*.

Электро сталеплавильное производство.

Для выплавки стали применяются *дуговые* и *индукционные* электрические печи. Емкость дуговых печей от 3 до 300 т, индукционных - от 5 кг до 25 т. При плавке в электропечах благодаря достижению высоких температур (до 2000°C) возможны выплавка высоколегированных сталей специального назначения, вакуумная плавка или плавка в контролируемой атмосфере. Время плавки в дуговых электропечах зависит от емкости печей и может составлять от 1 до 3 часов.

В кислородном конвертере и мартеновской печи окислительные условия сохраняются в течение всей плавки, а в дуговой печи легко создать окислительную, восстановительную и нейтральную атмосферы. Угар легирующих и раскислителей в электропечи на 25-30 % меньше, чем в других плавильных агрегатах. Электропечь незаменима для переработки металлizedованного сырья, доля которого с каждым годом увеличивается.

Дуговые печи питаются трехфазным переменным током. Они имеют три графитовых электрода, проходящих через свод в камеру печи. Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, теплота которой расплавляет металл. Внутри печь облицована основным или кислым кирпичом в зависимости от ее назначения. Плавильное пространство цилиндрической формы снизу ограничено подом и сверху съемным сводом, который отодвигается во время загрузки печи. Для управления процессом плавки в стенках предусмотрены рабочее окно и летка с желобом для выпуска стали и шлака. При выпуске печь поворачивается вокруг горизонтальной оси в сторону летки. В основной печи ведут плавку, применяя окисление примесей или метод переплава.



Плавка с окислением во многом сходна с мартеновским скрап-рудным процессом. Обычно ее применяют для получения углеродистых сталей. Шихтой в этом случае служат стальной лом, переплавный чугун, кокс и известь в небольшом количестве (2-3 %). Плавка имеет два периода: *окислительный* и *восстановительный*. Во время окислительного периода Si, Mn, C, Fe окисляются кислородом, поступающим из воздуха, оксидов шихты и окислы. Полученные оксиды вместе с известью образуют шлак. Благодаря наличию оксида кальция шлак связывает и удаляет фосфор. Восстановительный период включает раскисление стали, удаление серы и доведение содержания всех компонентов до заданного количества.

Для выплавки качественных высоколегированных сталей специального назначения применяется плавка в индукционных печах. Индукционная плавильная печь представляет собой электротермическую установку для плавки материалов с использованием индукционного нагрева. В промышленности применяют в основном *индукционные тигельные печи* и *индукционные канальные печи*.

Тигельная индукционная печь состоит из *индуктора*, представляющего собой соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки, и *тигля*, который в зависимости от свойств расплава изготавливается из керамических материалов, а в специальных случаях - из графита, стали и др.

В тигельных индукционных печах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий и магний. Печи изготавливают с емкостью тигля от нескольких килограммов до нескольких сотен тонн. Питание печей осуществляется токами низких, средних и высоких частот. В канальных индукционных печах выплавляют цветные металлы и их сплавы, чугун. Емкость плавильных ванн печей может быть от нескольких сотен килограммов до сотен тонн. Питание печей осуществляется токами промышленной частоты. Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т составляет около 45 мин.

Индукционные печи применяют для переплава и рафинирования металлов, а также в качестве миксеров (копильников) для хранения и перегрева жидкого металла перед разливкой.

По сравнению с дуговыми печами индукционные печи обладают рядом преимуществ. Отсутствие дуги позволяет выплавлять в индукционных печах металлы с малым содержанием углерода и газов. Возникающие электродинамические силы перемешивают жидкий металл, способствуя выравниванию химического состава и всплыванию неметаллических включений.

Благодаря небольшим размерам индукционные печи помещаются в специальные камеры, где можно создавать любую атмосферу или вакуум. В результате при плавке в индукционных печах получается очень чистая сталь, не содержащая оксидов. Вакуумная плавка дорогостояща и применяется лишь в тех случаях, когда требуется особо прочная и надежная сталь, например для шасси самолетов.

Содержание работы.

Определить методы получения выбранных сталей в зависимости от их состава и степени очистки.

Контрольные вопросы

1. Какие основные технологические процессы включает в себя сталеплавильное производство?
2. Что является сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь?
3. Перечислите основные материалы, применяемые при получении стали.
4. Охарактеризуйте основные этапы выплавки стали.
5. Какие элементы используют в качестве раскислителей?
6. Чему равняется допустимое содержание вредных примесей в судостроительных сталях?
7. Какие выплавляют стали по степени раскисления и чем они отличаются друг от друга?
8. В чем заключается сущность производства сталей в кислородно-конвертерных, мартеновских и электроплавильных печах?
Перечислите отличительные особенности различных способов производства сталей?

Практическая работа № 9

Тема 7. Материалы для сварки и пайки

Сварные конструкции. Материалы для сварки чугуна и цветных металлов

Цель работы: Изучить основные материалы для сварки чугуна и цветных металлов.

Теоретические основы

Особенности сварки стали, чугуна и цветных металлов.

Низкоуглеродистые стали обладают хорошей свариваемостью. Швы, сваренные на низкоуглеродистых сталях всеми способами сварки плавлением, обладают удовлетворительной стойкостью против образования кристаллизационных трещин, что обуславливается низким содержанием в металле шва углерода. Сварку покрытыми электродами проводят для металла толщиной от 2 до 40 мм. Швы могут быть стыковые и угловые во всех пространственных положениях.

Теплоустойчивые стали типа Г2ХМ, 15ХМ, 20ХМ, 15Х5М склонны к образованию холодных трещин в околошовной зоне. Поэтому перед сваркой рекомендуется местный подогрев изделий до 200, 300°C,

Хромоникелевые аустенитные стали относятся к удовлетворительно свариваемым. Их можно сваривать ручной электродуговой сваркой аустенитными электродами со специальным основным покрытием.

Жаростойкие стали свариваются ручной дуговой сваркой, причем необходимо "применять специальную сварочную проволоку (Св-Х25Н15 и Св-Х25Н15В), основные электродные покрытия с добавлением титана и ниобия.

Высокохромистые стали относятся к группе коррозионно стойких нержавеющей. Для предупреждения трещин эти стали сваривают с подогревом до

200...300°C.

Чугун относится к плохо свариваемым сплавам, так как он обладает низкой пластичностью и склонен к отбеливанию при быстром охлаждении.

Газовую сварку чугуна проводят нормальным или науглероживающим пламенем. Применяют флюс: 50% буры, 47% бикарбоната натрия, 3% окиси кремния.

Горячую сварку чугуна выполняют с полным или местным предварительным подогревом изделия до 400..650°C. Перед сваркой в деталях вырубляют дефектные места и разделявают кромки. Сварка может быть выполнена ручкой дуговой с чугунными и угольными или графитовыми электродами.

Холодную сварку чугуна выполняют стальными электродами с обмазкой основного типа УОНИ-13/55. Можно применять любые качественные электроды.

Сварка цветных металлов и сплавов.

Трудность сварки меди и ее сплавов обусловлена высокой теплопроводностью и электропроводностью и активным поглощением кислорода. Медь склонна к образованию горячих трещин. Для сварки меди применяют газовую, угольным электродом, покрытыми металлическими электродами, автоматическую под флюсом, в защитных газах и другие виды сварки, в качестве флюсов - буру, борную кислоту, борный ангидрид и др.

При сварке латуни имеются те же трудности, что при сварке меди, но добавляется испарение цинка из сплава и появление пористости шва, образование вредных паров. Хорошие результаты можно получить при сварке латуни в защитных газах, контактной сварки и автоматической под керамическим флюсом.

При сварке бронзы возникают те же трудности, что и при сварке меди. Кроме того, возможно выгорание легирующих элементов- Для сварки бронзы применяют те же способы, что и при сварке меди.

При сварке алюминия и его сплавов одним из главных затруднений является наличие на его поверхности тугоплавкой окисной пленки. Окисную пленку удаляют механическим путем, травлением, применением специальных бескислородных флюсов и обмазок. Основными способами сварки алюминия и его сплавов являются аргонно-дуговая вольфрамовым электродом на переменном токе и электроконтактная. При электродуговой сварке алюминия используют электроды марки ОЗА-1 со стержнем из алюминиевой проволоки АВ-1, АВ-2Т.

Практическая работа №10

Тема 9. Материалы на основе полимеров

Строение и свойства пластических масс.

Цель работы: Изучение строения и свойств полимеров и пластических масс.

Теоретические основы.

Пластические массы (пластмассы) – неметаллические композиционные материалы на основе полимеров (смол), способные под влиянием нагревания и

давления формироваться в изделия и устойчиво сохранять в результате охлаждения или отверждения приданную им форму. Для пластмасс характерны малая плотность, высокая устойчивость против коррозии, в большинстве случаев, низкий коэффициент трения, высокие электроизоляционные, теплоизоляционные и демпфирующие свойства, декоративность. Их недостатки - низкие теплостойкость и теплопроводность, гигроскопичность, склонность к старению и снижению прочностных свойств под воздействием температуры, времени и различных сред.

Основу пластмасс составляют полимеры, от типа и количества которых зависят физические, механические и технологические свойства пластмасс. *Полимеры* - это высокомолекулярные соединения (рис. 51), имеющие линейную (а), разветвленную (б) или пространственную (в) структуру. Молекула полимера - это длинная цепь, состоящая из отдельных звеньев (рис. 2), однотипных по химическому составу и строению (гомополимер) или разнотипных (сополимер).

Полимер, у которого макромолекулы состоят из разнородных относительно крупных звеньев (осколков макромолекул), называют блок-сополимером. Если к макромолекулам прививаются «боковые» отростки макромолекул другого вещества, то получают привитые сополимеры. Создавая привитые сополимеры, можно получать материалы с новыми, заранее заданными свойствами.

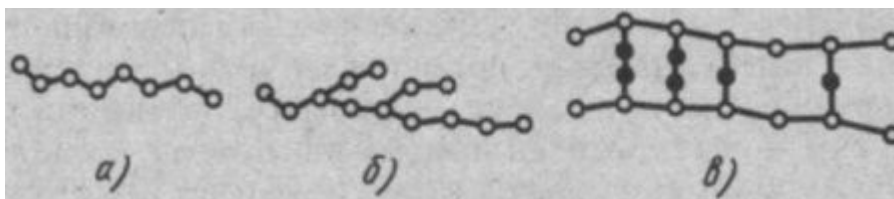


Рис. 1. Структура полимеров:

а - линейная, б - разветвленная, в - пространственная

Полимеры могут находиться в аморфном и кристаллическом состояниях. При переходе полимера из аморфного в кристаллическое состояние существенно меняются его физико-механические свойства, повышается прочность и теплостойкость. Под действием теплоты аморфные полимеры переходят из твердого (стеклообразного) состояния в высокоэластичное и вязкотекучее состояние

Для кристаллических полимеров термомеханические кривые имеют иной вид, чем для аморфных полимеров. Некоторые полимеры с увеличением температуры разлагаются, не переходя и в вязкотекучее состояние. *Линейные и разветвленные полимеры* служат основой термопластичных пластмасс (термопластов). Макромолекулы линейных полимеров представляют собой цепи, имеющие длину, в сотни и тысячи раз превышающую размеры поперечного сечения. При разветвленной структуре полимера макромолекулы имеют боковые ответвления, длина и число которых могут быть различными.

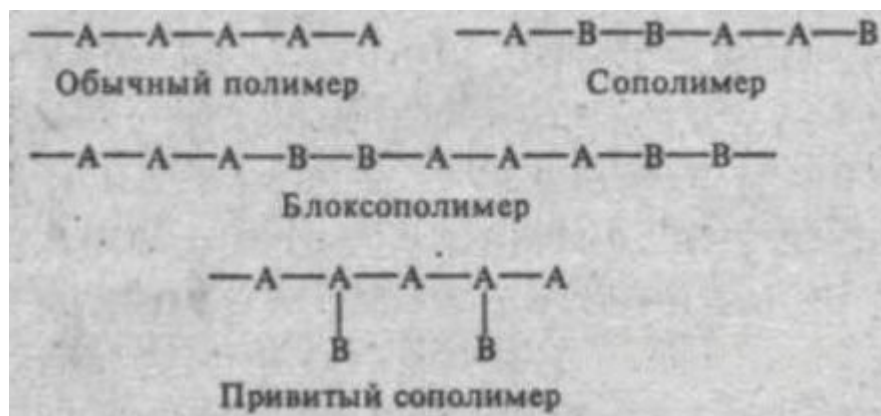


Рис. 2. Схема строения полимеров:

А и В – звенья различных макромолекул

Полимеры, способные образовывать *пространственные структуры*, служат основой термореактивных пластмасс (реактопластов). Пространственные структуры получаются из отдельных линейных цепей полимеров в результате возникновения поперечных связей. При этом полимер становится полностью неплавким и нерастворимым. При редких связях возможно некоторое набухание под воздействием растворителя и незначительное размягчение при нагреве.

Полимеры с течением времени могут значительно изменять свои свойства и стареть. При этом снижается механическая прочность, уменьшается эластичность, повышается хрупкость. Старение полимеров происходит в результате физико-химических процессов, в основном деструкции - разрыва химических связей в основной цепи макромолекул. Деструкцию полимеров вызывает нагрев, воздействие окислительных реагентов, облучение и т. д.

Механическая деструкция происходит при истирании и разрыве полимерных материалов. Термическая деструкция зависит от структуры полимера и приводит к его распаду на исходные мономеры. Химическая деструкция возникает под влиянием кислорода воздуха и может ускоряться под действием света.

Для замедления процесса старения в пластмассы добавляют различные стабилизаторы - органические вещества, которые уменьшают действие того или иного фактора. Например, амины предохраняют полимеры от окисления; сажа, поглощая свет, служит светостабилизатором и т. д.

Классификация пластмасс. В зависимости от вида связей между молекулами полимеров и их поведения при повышенных температурах пластмассы разделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

Термопласты получают на основе полимеров, молекулы которых связаны слабыми межмолекулярными силами. Наличие таких межмолекулярных связей позволяет полимеру много раз размягчаться при нагревании и твердеть при охлаждении, не теряя свои первоначальные свойства. К термопластам относят полиэтилен, капрон, полиамиды, поливинилхлорид, винипласты, фторопласты, органическое стекло и др.

Реактопласты получают на основе полимеров, молекулы которых наряду с межмолекулярными силами могут связываться химически. Возникновение прочных химических связей в полимерах происходит при нагревании или при введении отверждающих добавок - отвердителей. *Отвердителями* называют вещества, которые в количестве нескольких процентов вводят в реактопласты для

соединения полимерных молекул химическими связями. В результате введения отвердителя образуется пространственная молекулярная сетка, а молекулы отвердителя становятся частями этой сетки. При возникновении химических связей полимер превращается в жесткое неплавящееся и нерастворимое вещество. Примером реактопластов могут служить эпоксидные и полиэфирные смолы, фенопласты и другие полимеры.

Пластмассы разделяют на *пластики* и *эластики*. Первые называют жесткими, они имеют незначительное относительное удлинение, вторые - мягкими, они имеют большое относительное удлинение и малую упругость.

По составу пластмассы разделяют на две группы - ненаполненные и наполненные (композиционные).

Ненаполненные пластмассы – это полимеры в чистом виде, например полиэтилен, полиамид, органическое стекло и др.

Наполненные пластмассы – это сложные композиции, содержащие кроме полимера различные добавки. Добавки позволяют изменять свойства полимера в нужном направлении. К добавкам относят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, катализаторы, красители, отвердители и специальные добавки.

Наполнители упрочняют материал, удешевляют его и придают ему специальные свойства, например, повышают теплостойкость, уменьшают усадку и т. д. В качестве наполнителей используют органические (древесная мука, целлюлоза, хлопковые очесы, хлопчатобумажная ткань, древесный шпон, бумага и т. д.) и неорганические (графит, тальк, асбест, кварц, слюда, стекловолокно, стеклоткань и др.) вещества. В пластмассе может содержаться до 70% наполнителей.

Пластификаторы облегчают переработку пластмасс и делают их более эластичными. Кроме того, пластификаторы увеличивают гибкость, уменьшают хрупкость и улучшают формуемость пластмасс. Пластификаторы уменьшают межмолекулярное взаимодействие и хорошо совмещаются с полимерами. В качестве пластификаторов используют эфиры, дибутилфталат, касторовое масло и др. Их добавляют в пластмассы в количестве 10-20%.

Стабилизаторы - различные органические вещества, способствуют предотвращению старения пластмасс и сохранению их полезных характеристик.

Отвердители ускоряют процессы отверждения смол и получения пластмасс. *Катализаторы* – вещества (известь, магнезия и др.), ускоряющие отверждение пластмасс.

Красители - вещества (сурик, мумия, нигрозин и др.), придающие пластмассам требуемый цвет.

Специальные добавки - вещества, которые служат для изменения или усиления какого-либо свойства. К ним относят смазывающие вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.), которые увеличивают текучесть, уменьшают трение между частицами композиций и устраняют прилипание к пресс-формам, вещества для уменьшения статических электрических зарядов, уменьшения горючести, защиты от плесени и т. д.

Содержание практической работы.

Изучить строение полимеров. Научиться различать типы полимеров.

Контрольные вопросы

1. Чем термопластичные полимеры отличаются от термореактивных?
2. Какие пластмассы являются наполненными?
3. Что используют в качестве наполнителей для пластмасс?

Практическая работа №11

Тема 10. Эластомеры (каучуки) и резины.

Строение и свойства резин

Цель работы: Изучить строение, состав и свойства резины.

Теоретические основы

Резина — продукт вулканизации композиции, содержащей связующее вещество — натуральный или синтетический каучук.

В конструкции современных автомобилей используют несколько сот изделий, выполненных из резины. Это шины, камеры, шланги, уплотнители, герметики, детали для электро- и виброизоляции, приводные ремни и т. д. Их масса составляет до 10 % от общей массы автомобиля.

Широкое применение резиновых изделий в автомобилестроении объясняется их уникальными свойствами: • эластичностью; • способностью поглощать ударные нагрузки и вибрацию; • низкой теплопроводностью и звукопроводностью; • высокой механической прочностью; • высокой сопротивляемостью к истиранию; • высокой электроизоляционной способностью; • газо- и водонепроницаемостью; • устойчивостью к агрессивным средам; • низкой плотностью.

Основное свойство резины — обратимая эластичная деформация — способность многократно изменять свою форму и размеры без разрушения под воздействием сравнительно небольшой внешней нагрузки и вновь возвращаться в первоначальное состояние после снятия этой нагрузки. Подобным свойством не обладают ни металлы, ни древесина, ни полимеры.

Резину получают вулканизацией резиновой смеси, в состав которой входят: • каучук; • вулканизирующие агенты; • ускорители вулканизации; • активаторы; • противостарители; • активные наполнители или усилители; • неактивные наполнители; • красители; • ингредиенты специального назначения. .

Натуральный каучук — природный полимер, представляющий собой неопределенный углеводород — изопрен (C_5H_8)_n. Натуральный каучук добывают главным образом из млечного сока (латекса) каучуконосных растений, в основном из бразильской гевеи, в котором его содержится до 40 %. Для выделения каучука латекс обрабатывают уксусной кислотой, под действием которой он свертывается, и каучук легко отделяется. Затем его промывают водой, прокатывают в листы, сушат и коптят для устойчивости против окисления и действия микроорганизмов.

Производство натурального каучука (НК) требует больших затрат и не покрывает промышленных потребностей. Поэтому наибольшее распространение получил синтетический каучук (СК).

Свойства СК зависят от строения и состава.

Изопреновый каучук (обозначается СКИ) по своему составу и строению близок к натуральному каучуку, по некоторым показателям уступает ему, а по каким-то превосходит. Резина на основе СКИ отличается газонепроницаемостью, достаточной стойкостью против воздействия многих органических растворителей, масел. Существенные его недостатки — низкая прочность при высоких температурах и низкая озоно- и атмосферостойкость.

Бутадиен-стирольный (СКС) и бутадиен-метилстирольный (СКМС) СК наиболее широко используются в автомобилестроении. Резины на основе этих каучуков имеют хорошие прочностные свойства, высокое сопротивление изнашиванию, газонепроницаемость, морозо- и влагостойкость, однако нестойки при воздействии озона, топлива и масел.

Резина на базе бутадиенового каучука (СКД) эластична, износостойка, имеет хорошие физико-механические свойства при низких температурах, однако существуют трудности при переработке резиновых смесей. Она имеет недостаточно прочную связь с металлокордом при производстве армированных изделий.

Из СК специального назначения бутадиен-нитрильный (СКН) каучук отличается высокой бензомаслостойкостью, сохраняет свои свойства в широком интервале температур, обеспечивает прочную связь с металлами, поэтому применяется для изготовления металлорезиновых изделий, работающих в контакте с нефтепродуктами. Недостаток — быстрое старение.

Резины на основе фторкаучука (СКФ) и акрилатного каучука (АК) обладают очень высокими прочностными свойствами, стойки к воздействию топлив, масел, многих других веществ, высоких температур, однако низкая морозостойкость ограничивает их применение.

Комплексом положительных свойств обладают силиконовые каучуки. Молекулы СК являются полимерными цепями с небольшим числом боковых ответвлений.

При нагревании с некоторыми вулканизирующими веществами между молекулами каучука образуются химические связи — «мостики», что резко изменяет механические свойства смеси. Чаще всего в качестве вулканизирующего ингредиента используют серу (1—3 %). Для ускорения вулканизации в резиновую смесь добавляют ускорители и активаторы.

Чрезвычайно важным ингредиентом резины являются наполнители. Активные наполнители резко усиливают прочностные свойства резины. Чаще всего роль активного наполнителя выполняет технический углерод (сажа). Введение технического углерода делает резину более прочной, повышает износостойкость, упругость, твердость. Неактивные наполнители (мел, асбестовая мука и др.) служат для увеличения объема резиновой смеси, что удешевляет изготовление резины, но ее физико-механических свойств не улучшают (некоторые наполнители даже ухудшают). Пластификаторы (мягчители) облегчают приготовление резиновой смеси, формование изделий, а также улучшают эластичность резины при низких температурах. В качестве пластификаторов используют высококипящие фракции нефти, каменноугольную смолу, растительные масла, канифоль, синтетические смолы. Для замедления процессов старения резины и увеличения ее ресурса в состав резиновой смеси вводят противостарители (антиокислители, стабилизаторы).

Особая роль отводится армирующим наполнителям. Они не входят в состав резиновой смеси, а вводятся на стадии формования изделия.

Текстильная или металлическая арматура снижает нагрузку на резиновое изделие, ограничивает его деформацию. Изготавливают такие армированные резиновые изделия, как шланги, приводные ремни, ленты, автопокрышки, где для усиления прочности используют текстильный и металлический корды.

Подбором соответствующих каучуков, рецептуры резиновой смеси, условий вулканизации создают материалы, имеющие определенные свойства, что позволяет получать изделия, обладающие различными эксплуатационными свойствами, причем устойчиво сохраняющие свои качества продолжительное время и обеспечивающие функциональное назначение деталей и работоспособность узлов и агрегатов.

Из отработавших резинотехнических изделий изготавливают по специальной технологии регенерат, который добавляют в резиновую смесь в качестве заменителя части каучука. Однако резина, в состав которой входит регенерат, не отличается хорошими эксплуатационными свойствами, а потому из нее изготавливают изделия (коврики, ободные ленты), к которым не предъявляют высоких технических требований.

Содержание практической работы.

Выбор вида резины для различных целей и изделий.

Контрольные вопросы.

1. Что дает вулканизация каучуков?
2. Для чего вводят в резину различные наполнители?

Практическая работа № 12

Тема 12. Применение пластмасс в промышленности Применение антифрикционных пластмасс

В качестве антифрикционных материалов используются как термореактивные, так и термопластичные пластмассы — текстолит и ДСП (термораскисные), капрон, фторопласт (термопластичные) и др. Отличительными особенностями этих материалов является то, что их работоспособность не ухудшается при отсутствии смазки, а также при попадании воды в зону трения. В этих условиях они изнашиваются значительно медленнее, чем бронза — традиционный антифрикционный металлический сплав. Кроме того, антифрикционный металлический сплав. Кроме того, пластмассы значительно меньше изнашивают сопряженное с ними в узлах трения контртело. Износ стального вала, работающего в капроновых подшипниках, значительно меньше, чем в бронзовых или баббитовых подшипниках. Наиболее высокими антифрикционными свойствами обладает фторопласт-4. Коэффициент трения в парах со сталью и чугуном у фторопласта в несколько раз ниже, чем у бронз и цинковых сплавов. Однако фторопласт-4 обладает достаточно невысокой прочностью, его применение в чистом виде возможно лишь в малонагруженных

узлах трения. В промышленности применяют наполненные материалы на основе Фторопласта-4: Ф4К20 и Ф4К15М5 (К-кокс, М-Мо2S).

Вместе с тем следует отметить, что применение антифрикционных пластиков ограничено. Они работоспособны лишь в малонагруженных узлах трения — при небольших давлениях (из-за низких механических свойств) и невысоких скоростях, т. е. при низких температурах. Выход из строя полимерных подшипников обычно связан с повышением температуры на поверхностях трения, при этом реактопласты обугливаются, а термопласты оплавляются и текут; допустимая температура эксплуатации не более 80 °С.

Из-за малого сходства с металлами и из-за больших упругих деформаций пластмассы в узлах трения менее чувствительны к схватыванию и задиранию, что резко уменьшает износ деталей в паре трения. Этому способствует и поглощение пластмассой твердых частиц -- продуктов, износа. Практика показывает, что износ большинства видов пластмассовых подшипников в узлах трения меньше износа металлических подшипников

Разные текстолиты, ДСП, некоторые волокниты -- имеют прочность на сжатие 1000...3000 МПа. Этот показатель для термопластических масс --6000...11 000 МПа, для бронзы и баббитов -- 12 000...28 000 МПа. Поэтому текстолиты и ДСП могут использоваться для узлов трения при весьма тяжелых условиях работы. Положительными свойствами пластмасс является также способность их к гашению вибраций, стойкость к ударным нагрузкам, высокие антикоррозионные свойства, небольшая масса, малая трудоемкость в изготовлении.

Для изготовления тяжело нагруженных подшипников используются фенопласты со слоистыми наполнителями (текстолиты, ДСП, гетинакс). Подшипники изготавливаются в виде вкладышей, устанавливаемых в корпус подшипника. Такие подшипники используются для прокатных станов, пилорам, дробилок, подъемных кранов.

Термопластические пластмассы (полиамиды, фторопласт) под нагрузкой подвержены ползучести и могут выдавливаться. Эти же материалы имеют низкую теплопроводность, что еще больше содействует их ползучести от повышения температуры в узле трения. Поэтому при использовании фторопласта прибегают к изготовлению комбинированных подшипников. На стальную подложку наносится слой порошковой бронзы, которая припекается к подложке. В поры бронзового слоя впрессовывается фторопласт. Полоса разрезается на мерные куски, из которых изготавливаются подшипники в виде втулок. Если от подшипников не требуется особо высокая точность или действующие усилия относительно малы, с успехом применяются капроновые подшипники (ленточные транспортеры, подвижные конвейеры, направляющие втулки опок и т. д.).

Широкое распространение получили вкладыши в виде тонкостенных стальных втулок, внутри которых помещены разрезные втулки из полиамидов. Подшипники, изготовленные такими способами, имеют большую прочность и хорошую охлаждаемость. Подобные подшипники нашли применение в шпинделях токарных, фрезерных и шлифовальных станков, в сельскохозяйственных машинах и т. д.

В качестве материалов, используемых для изготовления деталей подшипников качения, применяются слоистые пластики с графитовым наполнителем, волокниты, полиамиды, фенопласты.

Широкое распространение получают пластмассовые направляющие на металлообрабатывающих станках и в других механизмах -- в поршневых двигателях, в прессах и др. В этих случаях направляющие изготавливают в виде полос, которые крепятся к корпусу методом склеивания или винтами. В качестве материала для этих целей используются текстолиты, волокниты или фенопласты с наполнителем в виде древесной крошки. Использование пластмассовых направляющих увеличивает точность станка за счет меньшего износа пластмассы по сравнению с обычно используемыми чугунными направляющими.

Практическая работа № 12

Тема 12. Применение пластмасс в промышленности

Применение фрикционных пластмасс

Эти материалы применяют в тормозных устройствах, фрикционных муфтах сцепления. Наиболее широкое применение нашли фрикционные асбодополимерные материалы (ФАПМ), что связано со свойствами асбеста: термостойкостью, высоким коэффициентом трения в парах с чугуном и сталью (0,43...0,45). Кроме того, асбест обладает способностью очищать поверхность трения от загрязнений.

Для изготовления ФАПМ используют каучуковое, смоляное и комбинированное связующее. Асбест используют в виде ткани, картона, асбестовой массы.

ФАПМ на каучуковом связующем (ЭМ-1, ЭМ-2) – мягкие эластичные, допускающие гибку с различными радиусами. Эти материалы не обладают высокой термостойкостью, температура эксплуатации не выше 200 °С.

Наиболее высокой термостойкостью отличаются ФАПМ из асбодомоляного материала. Они длительно работают при нагреве поверхности до 300 °С. Армированные латунной проволокой ФАПМ допускают кратковременные нагревы до 1000 °С; не армированные – до 700 °С.

По термостойкости комбинированные ФАПМ занимают промежуточное положение между рассмотренными материалами. Например, рабочая температура материала на основе комбинированного связующего (смола + каучук), используемого для изготовления тормозных дисков легковых автомобилей, составляет 450...500 °С при кратковременном нагреве.

Основное применение ФАПМ – сменные тормозные накладки. Для увеличения срока службы узлов трения материалы пар трения и их твердость следует выбирать так, чтобы обеспечивался малый износ металлических контртел, а не сменных накладок. Твердость различных марок ФАПМ – 15...50 НВ.

Неметаллические фрикционные материалы изготавливаются главным образом на асбестовой основе; связующим веществом служат каучуки, смолы и т.п. Пластмассовые материалы на каучуковом связующем имеют относительно высокий и устойчивый коэффициент трения до 220-250°С; они применяются для накладок автомобильных тормозов и колец сцеплений. Пластмассовые материалы на смоляном связующем имеют более высокую износостойчивость, но несколько меньший коэффициент трения. Один из лучших материалов этой группы - ретинакс, в состав которого входят фенолоформальдегидная смола, барит, асбест и

др. компоненты; он предназначен для использования в тормозных узлах с тяжёлым режимом эксплуатации, где температура на поверхности трения может достигать 1000°C (авиационные тормоза).

Спечённые фрикционные материалы получили распространение в тяжело нагруженных тормозных устройствах и фрикционных муфтах, что определяется их высокими износоустойчивостью, коэффициентом трения, теплостойкостью, теплопроводностью и некоторыми др. свойствами.

Проявлению хороших эксплуатационных свойств спечённых материалов в тяжёлых условиях работы способствуют входящие в их состав компоненты, одни из которых обеспечивают высокие износостойкость и коэффициент трения (карбиды и окислы металлов и т.д.), а другие - стабильность фрикционных свойств и отсутствие схватывания (графит, асбест барит, дисульфид молибдена и т.д.). Эти материалы служат для изготовления дисков, секторов, колодок методом спекания предварительно спрессованных заготовок из порошковых смесей. Для повышения прочности спечённых фрикционных материалов их изготавливают на стальной основе, соединение (сварка) с которой обычно достигается в процессе спекания. Наиболее широко применяются спечённые материалы на медной и железной основе. Фрикционные материалы на медной основе, содержащие олово, графит, свинец и др. компоненты, при работе в масле имеют коэффициент трения от 0,08 до 0,12; а при сухом трении - от 0,17 до 0,25. Температурный предел их применения 300°C.

Тема 13. Композиционные материалы

Технология применения дисперсно-упрочнённых композитов

Дисперсно-упрочнённые композиты

Структура дисперсно-упрочнённого композиционного материала представляет собой металлическую матрицу, в которой равномерно распределены мелкодисперсные частицы второго компонента. Упрочнение таких материалов осуществляется за счет создания барьеров перемещению дислокаций, аналогично тому, как это происходит в металлических сплавах с дисперсионным твердением. Наиболее сильное торможение перемещению дислокаций достигается при использовании в качестве второй, упрочняющей, фазы частиц химических соединений – карбидов, нитридов, боридов, оксидов, обладающих высокими значениями твердости, прочности, а также высокой химической устойчивостью.

Для эффективного торможения дислокаций суммарная поверхность дисперсных частиц должна быть максимальной, а их размеры минимальными (по не менее 2...10 им, так как при меньших размерах частицы перерезаются движущимися дислокациями, а не задерживают их), т.е. частицы упрочняющей фазы малы в трех измерениях.

Наиболее распространенная технология получения дисперсно-упрочнённого композита – порошковая металлургия. Основными технологическими процессами являются получение порошковых смесей, прессование порошков с последующим спеканием и пластическая деформация полученной массы. В процессе пластической деформации повышается плотность и уменьшается пористость композита.

В промышленности применяются композиты с матрицами из алюминия, магния, титана, никеля, вольфрама и др.

Композиты на основе алюминия типа САП (спеченный алюминиевый порошок) нашли широкое применение, в частности, в авиационной промышленности. В этих композитах алюминиевая матрица упрочнена оксидными частицами Al_2O_3 . Свойства композита зависят от количества Al_2O_3 . Так, предел прочности композита САП-1 (6...9% Al_2O_3) составляет 300 МПа, а композита САП-3 (13...18% Al_2O_3) – 400 МПа.

При цеховой температуре механические свойства САПов ниже, чем у алюминиевых сплавов. Их основное преимущество проявляется при температурах выше 300 °С, когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Так, при 500 °С предел прочности сплавов САП составляет 80...120 МПа, тогда как у сплавов Д19, Д20, АК-4 не превышает 5 МПа.

Тема 13. Композиционные материалы

Прочность и особенности разрушения композитов

Характер разрушения армированных пластиков определяется свойствами армирующей и матричной фаз и их взаимодействием на границе раздела. Предельные деформации волокон и матрицы могут отличаться в несколько раз. Компоненты армированных пластиков в связи с этим разрушаются не одновременно. Поэтому учет предельных деформаций матрицы и армирующих волокон при прогнозировании прочности композиционного материала имеет существенное значение. Очень часто причиной начала разрушения может явиться нарушение адгезионной прочности на поверхностях раздела волокон и матрицы. Это имеет место, как правило, в композиционных материалах на полимерной матрице [27]. В таких случаях прочность композиционного материала определяется адгезионной прочностью между матрицей и арматурой.

Расслоение

Еще одним видом разрушения, присущим исключительно слоистым композитам, является расслоение в условиях плоского и объемного напряженного состояния. Это вид разрушения можно наблюдать и при одноосном растяжении плоских образцов со свободными кромками (рисунок). Причиной такого вида разрушения плоских образцов является концентрация межслойных нормальных напряжений σ_z в области, расположенной вдоль свободных кромок, вызванная различием свойств смежных слоев (коэффициентов Пуассона, термического расширения и др.). Величина межслойных нормальных напряжений связана с последовательностью укладки слоев композита по толщине. Последовательность укладки определяет не только величину межслойных напряжений, но и их знак. Предсказание величины и характера распределения межслойных нормальных напряжений требует применения трехмерного анализа межслойного расслоения.

При комбинированном нагружении композитной конструкции в поперечном сечении последней могут действовать одновременно изгибающий и крутящий моменты, растягивающая (сжимающая) сила, поперечные силы. Каждый силовой фактор вызывает свой вид разрушения композитного материала.

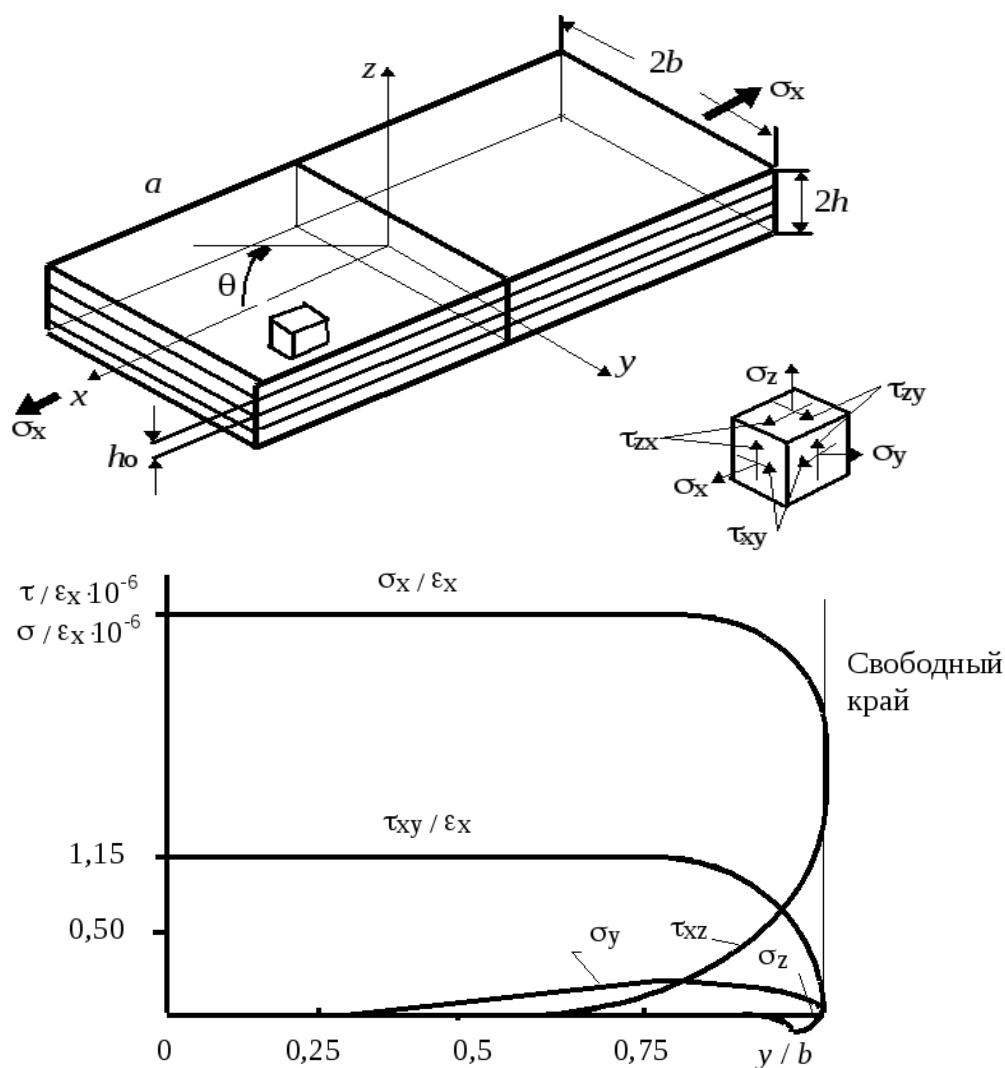


Рис. Геометрия слоистого тела и распределение напряжений на границе раздела $z = h$ при $\theta = 45^\circ$ и $b = 8h$, a - свободный край

Необходимо также иметь в виду, что вид разрушения в сильной степени зависит от структуры композита и объемного содержания армирующих волокон. Поэтому для прогнозирования прочности слоистого композита предпочтительнее использовать критерии, которые базируются на анализе напряженного состояния каждого слоя. Данный подход позволит учесть характер разрушения слоя при действии того или иного силового фактора и проследить кинетику разрушения слоистого композита.

Особенностью критериев, которые используются для прогнозирования прочности слоистых пластиков, является то, что они базируются на средних напряжениях и не учитывают структуры материалов. В действительности фактические напряжения в компонентах существенно отличаются количественно и качественно от средних. Как правило, большинство критериев не учитывает концентрации напряжений в компонентах композита, на межфазных границах волокно-матрица, начальные напряжения в компонентах и др. Если рассматривать простое растяжение композитного материала с точки зрения средних напряжений, то он будет находиться в линейном напряженном состоянии. Фактически при простом растяжении компоненты армированного пластика находятся в плоском

или объемном напряженных состояниях, и для оценки их прочности необходимо применять критерии, учитывающие их действительное состояние.

Задача эта очень сложная и выходит за рамки данного пособия. Необходимо также учитывать, что технология изготовления изделий [6] может существенно влиять на упругие и прочностные характеристики композитного материала, поскольку структура реального материала и адгезионная прочность матрицы и волокон, как правило, далеки от тех, которые используются в расчетных моделях для определения упругих характеристик напряженного состояния в компонентах композита.

В связи с этим разработанные критерии, которые основываются на средних напряжениях, целесообразно использовать для ориентировочных оценок и качественного анализа.

Более перспективным путем прогнозирования прочности композита является учет фактической структуры материала, напряженного состояния его компонент (матрицы и волокон) и межслойного слоя. Теория, базирующаяся на таком подходе, называется структурной теорией прочности. Под структурными напряжениями будем понимать напряжения в армирующих волокнах и матрице без учета их микроструктуры. Адгезионное взаимодействие на границе волокон и матрицы считаем абсолютным по всей их длине.

Тема 14. Дисперсно-упрочненные композиты. Волокнистые композиты Композиты на основе никеля и кобальта

Наиболее перспективными материалами для металлических матриц КМ являются металлы с невысокой плотностью (Al, Mg, Ti) и сплавы на их основе, а также никель, широко применяемый в настоящее время в качестве основного компонента жаропрочных сплавов.

Алюминий и сплавы на его основе, используемые в качестве матрицы КМ, должны обладать:

- совместимостью с материалом армирующих волокон при температурах изготовления и эксплуатации композитов;
- высокими прочностью и пластичностью при нормальных и повышенных температурах;
- высокими технологическими свойствами и коррозионной стойкостью.

Большим преимуществом магниевых сплавов как матриц КМ является то, что они практически не образуют хрупких соединений с армирующими волокнами. Однако магниевые сплавы отличаются пониженной коррозионной стойкостью.

Для изготовления КМ с титановой матрицей используют преимущественно технически чистый титан (ВТ6с, ВТ22 и др.) в виде фольги или порошка. Армирование титана и его сплавов высокомодульными волокнами проводят главным образом с целью повышения жесткости, поскольку по остальным показателям титан является одним из наиболее перспективных материалов для авиационной и космической техники.

Никель и его сплавы, пригодные для применения в качестве матрицы, промышленность выпускает в виде листов, лент и порошков. Технически чистый никель используют при изготовлении КМ, армированных проволоками

тугоплавких металлов, керамическими и углеродными волокнами. Однако жаростойкость композитов на основе технически чистого никеля низкая. Более широко применяют КМ на основе промышленных жаростойких и жаропрочных никелевых сплавов.

Для упрочнения матриц на основе Al, Mg, Ti и их сплавов применяют в качестве наполнителей волокна и нитевидные кристаллы технически чистых металлов или тугоплавких соединений (B, C, Al₂O₃, SiC), а также проволоку. Прочность КМ зависит от прочности армирующих элементов, объемной доли волокон, механических свойств зоны соединения матрицы и наполнителя, а также схемы армирования. Прочность волокнистых КМ пропорциональна объемной доле наполнителя, содержание которого варьируется от 5 до 80 %.

Волокнистые КМ превосходят самые высокопрочные сплавы, получаемые традиционным способом, по уровню прочности и удельной прочности, особенно по пределу выносливости. Усталостные трещины, возникая на поверхности, распространяются в пластичной матрице с малой скоростью: когда трещина доходит до границы с высокопрочным волокном, ее развитие прекращается.

Для сравнения в табл. приведены механические свойства алюминия, высокопрочного алюминиевого сплава В95 и композиционных материалов с алюминиевой матрицей. В композите, армированном стальной проволокой (марка КАС), по сравнению с высокопрочным сплавом В95 повышаются модуль упругости, временное сопротивление разрыву, удельная прочность σ_v/ρ и предел выносливости. Однако плотность композита КАС выше, чем у других КМ на алюминиевой основе (см. табл.).

Свойства материалов на алюминиевой основе

Материал	Состояние и состав материала	Плотность ρ , г/см ³	Модуль упругости E , ГПа	Временное сопротивление при растяжении σ_v , МПа	Предел выносливости σ_{-1} , МПа
			(растяжение)		
Технически чистый Al	Холоднокатаный	2,70	71	150	—
В95	Сплав Al—Mg—Zn—Cu	2,72	—	600	55
ВКА	Al—B	2,65	240	1200	600
ВКУ	Al—C	2,25	270	950	200
КАС	Al — стальная проволока	4,80	120	1600	350

При армировании алюминия высокомодульными и легкими волокнами углерода (марка ВКУ) плотность материала снижается при одновременном повышении модуля упругости, а предел выносливости увеличивается почти вчетверо. Наибольшее преимущество по сравнению со сплавом В95 имеет композит марки ВКА, в котором использованы борные волокна: значения σ_v и σ_v/ρ повышаются в 2 раза; E — более чем в 3 раза; σ_{-1} — на порядок (см. табл.).

Дисперсно-упрочненные композиты относятся к классу порошковых КМ. Структура их представляет матрицу из технически чистого металла или сплава, в котором равномерно распределены тонкодисперсные частицы упрочняющей фазы размером менее 0,1 мкм. Объемная доля этих частиц (включений) составляет 10...15 %. В качестве упрочняющей фазы используют дисперсные порошки оксидов, карбидов, нитридов, боридов и других тугоплавких соединений.

Особенность порошковых КМ состоит в изотропности механических и физических свойств.

Одним из представителей ДКМ, который используют в авиационной промышленности, является композит на алюминиевой основе, называемый спеченной алюминиевой пудрой (САП). Технология изготовления САП включает следующие этапы: из алюминия в жидком состоянии путем распыления получают порошок, затем поверхность частиц окисляют, брикетируют, спекают, прессуют, подвергают горячей и холодной прокатке. Частицы, на поверхности которых образуется оксид Al_2O_3 , называют пудрой.

Композит САП отличается высокими коррозионной стойкостью и жаропрочностью, обладает технологическими свойствами, которые позволяют при изготовлении изделий применять технологические процессы обработки давлением, резанием и сварки. В двигателестроении САП применяют для изготовления поршневых штоков компрессоров, тарелок клапанных пружин и др.

Одной из разновидностей МКМ являются эвтектические композиты, которыми называют сплавы эвтектического или близкого к нему состава. В этих КМ армирующей фазой служат ориентированные волокнистые или пластинчатые кристаллы, образованные в процессе направленной кристаллизации. Форма выделяющейся фазы — волокнистая или пластинчатая — зависит от ее объемной доли в эвтектическом КМ. Как правило, при объемной доле армирующей фазы менее 32 % образуется композит с волокнистыми кристаллами, а при большей концентрации — с пластинчатыми.

Эвтектическая структура создается в этих композитах естественным путем, а не в результате искусственного внедрения армирующей фазы в матрицу, такие КМ называют естественными. Композиты характеризуются высокой прочностью и термически стабильной структурой — вплоть до значений температуры, близких к температуре плавления эвтектики. Из эвтектических КМ можно изготавливать изделия за одну операцию при отсутствии трудоемких процессов получения армирующих элементов и их введения в матрицу.

По комплексу физико-механических свойств эвтектические КМ условно подразделяют на материалы конструкционного назначения и материалы с особыми физическими свойствами (ферромагнитные, полупроводниковые и др.).

Эвтектические КМ на основе алюминия обладают низким электрическим сопротивлением, их используют для изготовления электрических проводов в тех случаях, когда требуется оптимальное сочетание прочности и электропроводности. Материалы на основе никеля и кобальта служат для изготовления литых рабочих и сопловых лопаток газотурбинных двигателей.

Композиты на основе тантала и ниобия применяют для изготовления турбинных лопаток двигателей, кромок крыльев и др. Композиты на основе ферромагнитных материалов служат для производства роторов энергетических установок космических летательных аппаратов, работающих в условиях высоких температур и механических напряжений.

Тема 14. Дисперсно-упрочненные композиты. Волокнистые композиты

Область применения композитов

Композиты с полимерной матрицей. К их достоинствам следует отнести высокие удельные прочностные и упругие характеристики, стойкость в химически агрессивных средах, а также достаточную простоту изготовления,— для их производства не требуется высоких температур и давлений. Однако им присущ ряд недостатков, определяемых свойствами полимерной матрицы. Это, прежде всего, низкие значения прочности при сжатии и сдвиге (при их высоких удельных значениях), низкая теплостойкость, гигроскопичность и склонность к старению, т. е. к изменению физико-механических свойств под воздействием климатических факторов.

Стеклопластики нашли достаточно широкое применение из-за высокой прочности, в том числе при знакопеременных нагрузках, коррозионной стойкости. Они легко обрабатываются резанием. Их недостатком является снижение механических свойств в водной среде из-за ослабления связи «стекло — полимер». Стеклопластики были первыми конструкционными материалами, используемыми в силовых конструкциях. Из них изготавливают детали фюзеляжа и крыльев летательных аппаратов, баллоны высокого давления. В качестве армирующего компонента используют нити, жгуты, ткани. Слоистые композиты на основе тканей называются стеклотекстолитами. Матричным материалом могут быть как термореактивные, так и термопластичные полимеры.

Органопластики. В качестве армирующего компонента используются синтетические волокна. Природа связующего и армирующего компонентов одинакова, что приводит к их химическому взаимодействию. Компоненты имеют близкие значения коэффициентов линейного расширения. В связи с этим органопластики получают монолитную, беспористую структуру с сильной адгезионной связью связующего и арматуры. Монолитность структуры обеспечивает высокое сопротивление ударным и циклическим нагрузкам, высокую вибростойкость. Органопластики — самые легкие композиционные материалы, их применение позволяет снизить вес конструкции (при одинаковых размерах) на 20÷50 % по сравнению с стеклопластиковыми или сплавами алюминия. Однако в силовых конструкциях они практически не используются из-за низких значений предела прочности при сжатии и модуля упругости. Предел прочности при сжатии у органопластиков (около 300 МПа) примерно в два раза ниже, чем у углепластиков, и в четыре раза ниже, чем у боропластиков. Органопластики применяют в качестве обшивочного материала, из них изготавливают также детали оболочковой формы из-за технологичности при операциях намотки. Армирующие волокна непрерывные — в виде нитей, жгутов, тканей.

Углепластики — наиболее перспективный вид композитов. Их отличают высокие характеристики удельной прочности и жесткости, термостойкость, коррозионная стойкость. Композиты на основе эпоксидных связующих могут длительно работать при температуре до 200 °С, а на основе кремнийорганических смол до 300 °С. Благодаря высокой электропроводности углеродного волокна углепластики могут выполнять функции антистатика. Такое сочетание свойств определило их достаточно широкое применение — в авиационной и космической технике, автомобилестроении, для изготовления спортивного инвентаря. Форма армирующего компонента — нити, жгуты, ткани.

Боропластикиобладают высокой прочностью при сжатии. Так, если пределы прочности при растяжении угле- и боропластиков близки, то предел прочности при сжатии боропластика практически в два раза выше — 1020÷1160 МПа и 520÷530 МПа, для боро- и углепластика соответственно. Поэтому их целесообразно применять в силовых конструкциях, воспринимающих напряжения сжатия. Недостаток боропластиков — технологический, у них низкая обрабатываемость резанием.

Композиты с углеродной матрицей.В качестве армирующего компонента таких композитов используется углеродное волокно. Основное назначение таких композитов — тепловая защита. Они сохраняют высокие механические свойства при очень высоких температурах. При нагреве до 2000 °С наблюдается даже некоторое повышение пределов прочности при растяжении и сжатии. По прочности «углерод — углеродный» композит в 5—10 раз превосходит специальные графиты. Высокие теплозащитные свойства композита определяются также тем, что при нагреве происходит снижение теплопроводности и рост теплоемкости графита. «Углерод — углеродные» композиты нашли применение для изготовления дисков авиационных тормозов.

Композиты с металлической матрицейсочетают в себе достоинства и металлов, и композитов. Они обладают высокими значениями модуля упругости, предела прочности, ударной вязкости. Эти материалы сохраняют свои свойства при температурах значительно более высоких, чем композиты с полимерной матрицей. Важным является то, что прочная металлическая матрица обеспечивает высокие механические свойства в направлении, перпендикулярном оси волокон. Это определило конструкцию композитов с металлической матрицей как одноосную, т. е. более технологичную. Особо следует отметить, что только такие композиты возможно упрочнить путем термической обработки или наклепа. Повышение механических характеристик достигается при этом за счет упрочнения материала матрицы.

Наиболее распространены композиты с матрицей из алюминия или сплавов на его основе вследствие их высокой технологичности при производстве композитов. В качестве армирующего компонента используют борные и углеродные волокна, стальную проволоку.

Предел прочности бороалюминия (композит марки ВКА-1) вдоль направления волокна при комнатной температуре в два раза выше, чем у конструкционных алюминиевых сплавов (1000÷1200 МПа). При повышенных температурах его преимущество становится еще заметнее (при 500 °С предел прочности композита составляет 500 МПа). Прочность в поперечном направлении этого композита достаточно низкая, около 60 МПа, так как материал матрицы — неупрочняемый сплав. При изготовлении матрицы из сплава Д16 и упрочнении композита путем термической обработки (закалка + старение) его прочность в поперечном направлении возрастает до 200 МПа.

Композиты с углеродным волокном (КАУ) получают методом пропитки, т. е. заливкой волокнистого каркаса. Материал матрицы в этом случае — литейный сплав алюминия. При армировании силумина АЛ-2 углеродными волокнами достигается прочность до 1000 МПа и теплостойкость до 500 °С.

Использование для армирования стальной проволоки (композит КАС-1) позволяет повысить предел прочности до 1300÷1450 МПа. В качестве матричного материала для композита КАС-1 используют упрочняемые сплавы алюминия,

поэтому предел прочности в поперечном направлении достаточно высок — после термической обработки его значения приближаются к 300 МПа (материал матрицы сплав САП-1, т. е. в этом случае имеем комбинированное упрочнение — дисперсно-упрочненный волокнистый композит).

Основное применение композитов с матрицей на основе алюминиевых сплавов — авиационная промышленность. Их используют вместо алюминиевых сплавов для повышения механических свойств, наиболее важно — увеличение модуля упругости. Так, замена сплава Д16 на композит ВКА-1 позволила повысить жесткость лонжерона крыла примерно в 1,5 раза.

Композиты с магниевой матрицей обладают более высокой удельной прочностью, чем композиты на основе алюминия из-за малой плотности магния (плотности магния и алюминия составляют соответственно 1,74 и 2,7 г/см³). Предел прочности боромagnesия при комнатной температуре приближается к 1000 МПа, а при температуре 400 °С его значение составляет около 500 МПа. Однако производство композитов с магниевой матрицей связано со значительными технологическими трудностями из-за низкой пластичности и свариваемости магниевых сплавов, а также присутствия на поверхности рыхлой оксидной пленки магния.

Композиты с титановой матрицей армируют волокнами бора, борсика, карбида кремния, бериллия, молибдена. Основное достоинство этих композитов — высокая теплостойкость. Высокие значения прочности сохраняются до 650÷700 °С. В продольном направлении предел прочности композитов составляет 1100÷1300 МПа (в зависимости от вида волокон и их свойств), а в поперечном достигает 650 МПа из-за высокой прочности матрицы. При получении композитов на основе титана возникают значительные технологические трудности, связанные с необходимостью нагрева до высоких температур. При этом титан становится химически активным и взаимодействует с волокнистым наполнителем, что приводит к образованию хрупких фаз по границам раздела. Это требует контроля технологии изготовления с учетом протекающих реакций и степени их развития. Наибольшая совместимость достигается в системах Ti—SiC.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Алексеев, В. С. Материаловедение : учебное пособие для СПО / В. С. Алексеев. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1894-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/87077.html> (дата обращения: 19.11.2019)
2. Мельников, В. Н. Материаловедение и технологии современных и перспективных неметаллических материалов : учебное пособие для СПО / В. Н. Мельников ; под редакцией Н. В. Обабокова. — 2-е изд. — Саратов, Екатеринбург : Профобразование, Уральский федеральный университет, 2019. — 167 с. — ISBN 978-5-4488-0473-1, 978-5-7996-2903-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/87826.html> (дата обращения: 19.11.2019).
3. Пасютина, О. В. Материаловедение : учебное пособие / О. В. Пасютина. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2018. — 140 с. — ISBN 978-985-503-790-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/84885.html> (дата обращения: 19.11.2019)

Дополнительная литература:

1. Моисеев, О.Н. Практикум по материаловедению : учебное пособие для СПО / О.Н. Моисеев, Л.Ю. Шевырев, П.А. Иванов ; под общ.ред. О.Н. Моисеева. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. - 273 с. : ил., схем., табл. - ISBN 978-5-4475-9532-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481193>
2. Петухов, С.В. Справочник мастера машиностроительного производства / С.В. Петухов. - Москва-Вологда : Инфра-Инженерия, 2017. - 357 с. : ил., схем., табл. - ISBN 978-5-9729-0148-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=466493>