

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
Е.С. Астапова

_____ подпись, И.О.Ф

«__» _____ 200__ г.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНАМ:

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ для специальности: **220301** – «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)»;
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ для специальности: **280101** – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»;
ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ.
СПЕЦ. ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВАМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ для специальности: **010701** – «Физика».

Составитель ст.преподаватель Волкова Н.А.

Благовещенск
2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета

Н.А. Волкова

Учебно-методический комплекс по дисциплинам:

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ для специальности: **220301** – «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)»;

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ для специальности: **280101** – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»;

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ.

СПЕЦ. ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВАМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ для специальности: **010701** – «Физика».

- Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. - 313с.

__Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения по специальностям: **220301** – «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)», **280101** – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», **010701** – «Физика» для формирования знаний методов исследований в материаловедении и их современным аппаратурным оформлением, а также для приобретения навыков проведения таких исследований.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа дисциплины для студентов специальностей 220301	4
2. Рабочая программа дисциплины для студентов специальностей 280101	16
3. Рабочая программа дисциплины для студентов специальностей 010701	28
4. Конспект лекций	39
5. Лабораторные работы для студентов специальностей 220301, 280101, 010701	265
6. Пояснения к лекционному курсу	307
7. Список лабораторных работ	308
8. График самостоятельной работы студентов	309
9. Пример тестового задания для проверки остаточных знаний	311

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
Е.С. Астапова

_____ подпись, И.О.Ф

«__» _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по *Материаловедению.*

для специальностей: **220301**

Курс 2

Семестр 3

Лекции 36 (час.)

Экзамен -

Практические (семинарские) занятия (час.) Зачет – 3 семестр

Лабораторные занятия – 18 (час)

Самостоятельная работа 16 (час.)

Всего часов -70

Составитель ст.преподаватель Волкова Н.А.

Факультет *инженерно - физический*

Кафедра *физического материаловедения и лазерных технологий*

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании авторских разработок

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физического материаловедения и лазерных технологий

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ д.ф.-м.н. Астапова Е.С.

Рабочая программа одобрена на заседании УМС _____
(наименование специальности)

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____ .

Зав.кафедрой _____
подпись _____ Ф.И.О. _____

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ

Строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства и сплавов. Конструкционные металлы и сплавы. Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка. Жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы. Материалы, применяемые в различных отраслях промышленности. Электротехнические материалы, резина, пластмассы, композиционные материалы и др. Основы производства материалов. Формообразование заготовок. Производство заготовок различными способами. Сварка, пайка, склеивание материалов. Получение композиционных материалов. Изготовление изделий из композиционных материалов: металлических, порошковых, эвтектических, полимерных. Изготовление резиновых полуфабрикатов и деталей. Формирование поверхностей деталей резанием, электрофизическими и электрохимическими способами обработки. Выбор способа обработки.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Основы материаловедения; типы твердых тел, их свойства; атомно-кристаллическое строение, фазово-структурный состав сплавов; типовые диаграммы состояния; деформация, термическая обработка, наклеп, рекристаллизация; металлические материалы; новые металлические материалы; неметаллические материалы.

1.1. Цель преподавания дисциплины:

Курс материаловедения знакомит студента с основами строения сплавов, их поведения в процессе термической обработки и пластической деформации, свойствами и назначением промышленных сплавов.

Целью изучения курса является познание природы и свойств металлических материалов для наиболее эффективного использования их в

технике.

Раздел металловедение знакомит студента с основами строения сплавов, их поведения в процессе термической обработки и пластической деформации, свойствами и назначением промышленных сплавов.

Разделом неметаллические материалы предусматривается изучение различных видов пластмасс, их классификация, основы строения, а также физико-механические и технологические свойства.

1.2. Основные знания, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

Изучение данного курса и выполнение лабораторных работ обеспечит приобретение студентами теоретических и практических навыков в вопросах материаловедения и технологии конструкционных материалов.

1.3. Основные умения, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

При конструировании машин, узлов и их деталей студент должен выбирать материалы для деталей, отвечающие предъявленным к ним требованиям, уметь выбирать режим термической обработки, должен иметь некоторые навыки будущего конструктора в указанном направлении.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1. Введение. Содержание курса и его значение в подготовке инженеров машиностроительных специальностей. (2 ч.)
2. Строение и основные свойства металлов и сплавов. Атомно-кристаллическое строение металлов. Дефекты строения реальных металлов и сплавов. Кристаллизация металлов. Аллотропические превращения в металлах. Теоретические основы физики твердого тела. Индексы и плоскости Миллера. Аллотропия (полиморфизм). Понятие о строении сплавов. Основные типы диаграмм двухкомпонентных систем. Правило фаз и отрезков. (4 ч.)
3. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния системы железо-углерод. Микроструктура железоуглеродистых сплавов. Влияние постоянных примесей N, S, P, Si, Mn на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей и чугунов. Механические свойства сталей и чугунов. Методы их определения. ГОСТы на стали и чугуны. Влияние методов получения стали на ее свойства. (4 ч.)
4. Основы термической обработки стали. Виды термической обработки. Превращение при нагреве и охлаждении. Виды отжига. Старение сплавов. Превращение при отпуске. Прокаливаемость стали. Технология закалки и отпуска стали, виды закалки (ступенчатая, изотермическая). Дефекты закалки. Поверхностная закалка стали, газопламенная и с нагревом ТВЧ. Термомеханическая обработка стали. Остаточные напряжения при термической обработке и их влияние на свойства стали. Техника безопасности при термической обработке стали. (6 ч.)
5. Химико-термическая обработка, стали. Цементация, нитроцементация, азотирование. Основные, параметры процессов и области их применения. Диффузионная металлизация. (4 ч.)
6. Легированные стали и сплавы. Влияние легирующих элементов, на

строение и свойства стали. Конструкционные легированные стали, их маркировка и области применения. Инструментальные стали и сплавы, их маркировка и области применения. Стали и сплавы с особыми свойствами - нержавеющие, жаропрочные. Мартенситно- стареющие стали. (2 ч.)

7. Цветные стали и сплавы. Медь и ее сплавы, применение медных сплавов в промышленности. Алюминий и его сплавы, применение алюминиевых сплавов в промышленности. Магний и его сплавы. Титан и его сплавы. Подшипниковые сплавы. (2 ч.)

8. Стали и сплавы с особыми свойствами. Материалы в приборостроении и автоматике. Магнитные материалы. Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Проводниковые материалы, сплавы с высоким электросопротивлением. Припой. Контактные материалы. Материалы в микроэлектронике. (4 ч.)

9. Композиционные и неметаллические материалы. Металло- и минералокерамика. Композиционные материалы. Основы строения и свойства. Неметаллические полимерные материалы. Экономическая эффективность применения в машиностроении. Современные тенденции повышения качества материалов в машиностроении. (2 ч.)

10. Производство заготовок различными способами. Сварка, пайка, склеивание материалов. (2 ч.)

11. Изготовление изделий из композиционных материалов. (2 ч.)

12. Изготовление резиновых полуфабрикатов и деталей. (2 ч.)

СПИСОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п.п	Объем в часах	Наименование	Характер и цель занятий
1	2	3	4
1.	2	Изготовление микрошлифа.	Практическое ознакомление студентов с техникой изготовления образцов, предназначенных для изучения микроструктуры.
2.	2	Металлографический анализ. Изучение процесса кристаллизации солей.	Знакомство с устройством и методикой работы на металлографическом микроскопе. Изучение процесса кристаллизации на примере солей.
3.	2	Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов.	Изучение структур чистых металлов и двойных сплавов на примере системы свинец-сурьма, медь-никель, и зарисовка их структур.
4.	2	Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии.	Изучение микроструктур сталей, содержащих различное количество углерода, определение содержания углерода, по микроструктуре.
5.	2	Изучение микроструктуры чугунов.	Определение вида чугуна по его структуре. Изучение свойств чугунов.
6.	2	Закалка стали в различных средах.	Изучение влияния различных охлаждающих сред на превращение аустенита при закалке путем контроля, твердости.
7.	2	Влияние холодной пластической деформации и температуры рекристаллизации на структуру и свойства малоуглеродистой стали.	Изучение влияния пластической деформации на структуру и свойства /твердость/ стали.
8.	2	Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей.	Изучение микроструктур термически обработанных сталей и микроструктуры сталей, полученных в результате перегрева,
9.	2	Изучение микроструктур цветных сплавов.	Изучение маркировки и структур цветных сплавов на основе алюминия и меди.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

- 1.Зеренное строение металлов.
- 2.Описание строения кристаллов с помощью пространственных решеток. Сингонии.
- 3.Описание строения кристаллов с помощью пространственных решеток. Решетки Браве.
- 4.Кристаллографические направления, плоскости и их индцирование.
- 5.Кристаллографические характеристики. Основные типы металлических структур.
- 6.Виды дефектов кристаллического строения.
- 7.Механизмы зарождения точечных дефектов.
- 8.Расчет равновесной концентрации вакансий.
- 9.Термодинамика открытых систем. Химический потенциал.
- 10.Фаза. Равновесие фаз в однокомпонентной системе.
- 11.Уравнение Клаузиуса.
- IS. Анализ диаграмм состояния P-T и P-V для однокомпонентной системы.
- 13.Система с непрерывным рядом твердых растворов.
- 14.Система, эвтектического типа.
- 15.Система перетектического типа.
- 16.Строение сплавов Fe-C. Диаграмма Fe-C.
- 17.Диаграмма Fe-Fe₃C. Анализ.
- 18.Влияние примесей на свойства стали и их классификация.
- 19.Классификация углеродистых сталей.
- 20.Классификация чугунов.
- 21.Основы термической обработки. Гомогенизационный и дорекристаллизационный отжиг.
- 22.Рекристаллизационный отжиг. Отжиг, уменьшающий остаточные напряжения.
- 23.Отжиг 2-го рода. Отжиг сталей.

24. Закалка стали без полиморфного превращения и на мартенсит.
25. Прокаливаемость сталей.
26. Поверхностная закалка. Закалка с плавлением поверхности.
27. Старение.
28. Отпуск.
29. Термо-механическая обработка сталей.
30. Химико-термическая обработка. Цементация.
31. Термо-механическая обработка стареющих сплавов.
32. Химико-термическая обработка. Азотирование. Нитроцементация. Алитирование.
33. Классификация и маркировка легированных сталей.
34. Влияние легирующих элементов на структуру и фазовые превращения в сталях..
35. Коррозионностойкие стали.
36. Жаропрочные и жаростойкие стали.
37. Медь и ее сплавы.
38. Алюминий и его сплавы.
39. Магний и его сплавы.
40. Титан и его сплавы.
41. Неметаллические материалы. Резина, пластмасса, композиционные материалы.
42. Изготовление полуфабрикатов и деталей из неметаллических материалов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для ВУЗов. М.: Высшая школа, 2001.-592 с.
2. Мосталыгин Г.П. и др. Технология машиностроения. - М.: Машиностроение. 1990.
- 3.Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение. 2005
- 4.Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки. Справочник 8-е изд.,перераб. и доп. М.: Политехника, 2001
- 5.Справочник Технолога - машиностроителя. В 2-х томах / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещеряковой. 4-е изд. М.: Машиностроение,1988. – Т.1. – 656с.; - Т.2. – 496 с
- 6.Технология машиностроения: Учебник для ВУЗов. / Под ред. А.В. Мухина, А.М. Дальского, Г.Н. Мельникова. – М.: изд. МВТУ им Н.Э. Баумана, 1998. Т.1 – 360 с, 2001. Т.2 – 350 с

Дополнительная:

- 7.Общемашиностроительные нормативы режимов резания и норм времени.- М.: Машгиз. 1959
- 8.Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. - М.: Машиностроение. 1976
- 9.Горошкин А.И. Приспособление для металлорежущих станков. Справочник. – М: Машгиз. 1971
- 10.Болотин Х.Л. и др. Станочные приспособления. – М.: Машгиз. 1960
- 11.Анурьев В.Н. Справочник конструктора - машиностроителя. - М.: Машиностроение 1978
- 12.Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование: Учебник. – М.: Форум: ИНФРА – М, 2005. – 400 с.
- 13.Справочник металлиста. Под ред. Д.Н. Мелова.- М.: Машиностроение (в 6-ти томах). 1977
- 14.Основы технологии машиностроения. Под ред. Б.С. Корсакова. - М.:Машиностроение. 1977
- 15.Справочник молодого фрезеровщика.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1978. – 240 с., ил
- 16.Технология машиностроения: В 2 т. Т.2 Производство машин: Учебник для вузов/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; Под ред. Г.Н. Мельникова. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с., ил.
- 17.Фомин С.Ф. Справочник мастера токарного участка – М.: Машгиз, 1960, 259с.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по технологии конструкционных материалов. Составители: ст. преп. Н.А. Волкова, К.Е. Бояркин. Благовещенск 1990 г.
2. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова, к.т.н. Е.Ф. Дегтярев. Благовещенск 1989 г.
3. Методические указания к практическим заданиям по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова. Благовещенск 1990 г.
4. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: Волкова Н.А., Соловьев В.В., Бочкарева И.Ю. Благовещенск: АмГУ. 2004 г.

Критерии оценки при сдаче зачета

1. К сдаче зачета допускаются студенты:

- посетившие все лекционные и лабораторные занятия данного курса;
- защитившие лабораторные работы;
- выполнившие все работы по промежуточному контролю знаний на положительную оценку.

При наличии пропусков и неудовлетворительных оценок темы пропущенных занятий должны быть отработаны, т.е. проведены преподавателем устные собеседования по темам лабораторных занятий. Программные вопросы к зачету доводятся до сведения студентов за месяц до зачета.

2. Критерии оценки:

Итоговая оценка знаний студентов должна устанавливать активность и текущую успеваемость студентов в течение семестра по данному предмету. Оценка «зачет» - ставиться при 70 - 100 % правильных ответов на зачете и наличии всех защищенных лабораторных работ.

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
Е.С. Астапова

подпись, И.О.Ф

«__» _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по *Материаловедению и технологии материалов*

для специальности *280101 – Безопасность жизнедеятельности в техносфере*

Курс 3

Семестр 5

Лекции 36 (час.)

Экзамен - 5 семестр

Практические (семинарские) занятия (час.) Зачет -

Лабораторные занятия – 18 (час)

Самостоятельная работа 48 (час.)

Всего часов -102

Составитель ст.преподаватель Волкова Н.А.

Факультет *инженерно - физический*

Кафедра *физического материаловедения и лазерных технологий*

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании авторских разработок

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физического материаловедения и лазерных технологий

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ д.ф.-м.н. Астапова Е.С.

Рабочая программа одобрена на заседании УМС _____
(наименование специальности)

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____ .

Зав.кафедрой _____
подпись _____ Ф.И.О. _____

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ

Материаловедение: строение металлов, диффузионные процессы в металле. Армирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов. Конструкционные металлы и сплавы. Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка. Жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы. Электротехнические материалы, резина, пластмассы.

Технология материалов: теоретические и технологические основы производства материалов. Основные, Методы получения твердых тел. Основы металлургического производства. Основы порошковой металлургии. Напыление материалов. Теория и практика формообразования заготовок. Классификации способов получения заготовок. Производство заготовок способом литья. Производство заготовок пластическим деформированием. Производство неразъемных соединений. Сварочное производство. Физико-химические основы получения сварочного соединения. Пайка материалов. Получение неразъемных соединений склеиванием. Изготовление полуфабрикатов и деталей из композиционных материалов. Физико-технологические основы получения композиционных материалов. Изготовление изделий из металлических композиционных материалов. Особенности получения деталей из композиционных порошковых материалов. Изготовление полуфабрикатов и изделий из эвтектических композиционных материалов. Изготовление деталей из полимерных композиционных материалов

Изготовление резиновых деталей и полуфабрикатов. Формообразование поверхностей деталей резанием, электрофизическими и электрохимическими способами обработки. Кинематические и геометрические параметры процесса резания. Физико-химические основы резания. Обработка лезвийным инструментом. Обработка поверхностей деталей абразивным инструментом. Условие непрерывности и самозатачиваемости. Электрофизические и

электрохимические методы обработки поверхностей заготовок. Выбор способа обработки.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Цель преподавания дисциплины:

Курс «Материаловедение и технология материалов» знакомит студентов с основами строения сплавов, их поведения в процессе термической обработки и пластической деформации, свойствами и назначением промышленных сплавов, способами обработки конструкционных материалов.

Целью изучения дисциплины является познание природы и свойств металлических материалов для наиболее эффективного использования их в технике, и изучение способов их обработки.

1.2. Основные знания, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

Изучение данного курса и выполнение лабораторных работ обеспечит приобретение студентами теоретических и практических навыков в вопросах материаловедения и технологии конструкционных материалов.

1.3. Основные умения, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

При конструировании машин, узлов и их деталей студент должен выбирать материалы для деталей, отвечающие предъявленным к ним требованиям, уметь выбирать режимы термической обработки, и способы получения заготовок. Должен иметь некоторые навыки будущего конструктора в указанном направлении.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1. Введение. Содержание курса и его значение в подготовке инженеров машиностроительных специальностей. (2 ч.)
2. Строение и основные свойства металлов и сплавов. Атомно-кристаллическое строение металлов. Дефекты строения реальных металлов и сплавов. Кристаллизация металлов. (2 ч.)
3. Аллотропические превращения в металлах. Теоретические основы физики твердого тела. Индексы и плоскости Миллера. Аллотропия (полиморфизм). Понятие о строении сплавов. Основные типы диаграмм двухкомпонентных систем. Правило фаз и отрезков. (2 ч.)
4. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния системы железо- углерод. Микроструктура железоуглеродистых сплавов. Влияние постоянных примесей (N, S, P, Si, Mn) на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сплавов и чугунов. Методы их определения. ГОСТы на стали и чугуны. Влияние методов получения стали на ее свойства. (2 ч.)
5. Основы термической обработки стали. Виды термической обработки. Превращение при нагреве и охлаждении. Виды отжига. Старение сплавов. Превращение при отжиге. Прокаливаемость стали. Технология закали и отпуска стали, виды закали (ступенчатая, изотермическая). Дефекты закали. Поверхностная закали стали, газопламенная и с нагревом ТВЧ. Термомеханическая обработка стали. Остаточные напряжения при термической обработке и их влияние на свойства стали. Техника безопасности при термической обработке стали. (2 ч.)
6. Химико-термическая обработка стали. Цементация, нитроцементация, азотирование. Основные параметры процессов и области их применения. Диффузионная металлизация. (2 ч.)
7. Легированные стали и сплавы. Влияние легирующих элементов на строение и свойства стали. Конструкционные легированные стали, их маркировка и области применения. Инструментальные стали и сплавы, их маркировка и области

применения. (2 ч.)

8.Стали и сплавы с особыми свойствами - нержавеющие, износостойкие, жаропрочные. Мартенситно-старяющие стали. (2 ч.)

9.Цветные металлы и сплавы. Медь и ее сплавы, применение медных сплавов в промышленности. Алюминий и его сплавы, применение алюминиевых сплавов в промышленности. Магний и его сплавы. Титан и его сплавы. Подшипниковые сплавы. (2 ч.)

10. Композиционные и неметаллические материалы. Металло- и минералокерамика. Композиционные материалы. Основы строения и их свойства. Неметаллические полимерные материалы. Экономическая эффективность применения в машиностроении. Современные тенденции повышения качества материалов в машиностроении. (2 ч.)

11.Структура металлургического производства и его продукция. Материалы для производства металлов и сплавов. Доменное производство, выплавка чугуна Производство стали. Способы и оборудование. (2 ч.)

12.Обработка металлов давлением. Физико - механические основы обработки металлов давлением. Прокатное производство. Термические режимы. Оборудование. Ковка, основные операции и применяемый инструмент, оборудование. Горячая объемная штамповка. Оборудование и инструмент. Отделочные операции. Холодная штамповка. Прессование, волочение. (2 ч.)

13.Литейное производство. Теоретические основы производства отливок. Литье в песчано - глинистые формы. Специальные способы литья. Конструирование литых деталей. Дефекты отливок и методы их устранения. (2 ч.)

14.Методы получения неразъемных соединений. Сварочное производство. Физические основы получения сварного соединения. Способы сварки. Оборудование и материалы. Пайка металлов и сплавов. (2 ч.)

15.Технология обработки металлов резанием. Физико – механические основы процесса резания. Кинематические и геометрические параметры процесса резания. Классификация оборудования. Режущий инструмент. (2 ч.)

СПИСОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№	Объем в часах	Наименование	Характер и цель занятий
1	2	3	4
1	2	Изучение устройства металлографического микроскопа МИМ-7	Приобретение навыков работы с микроскопом МИМ-7. Освоение методики исследования микроструктур металлов и сплавов.
2	2	Изготовление микрошлифа	Практическое ознакомление студентов с техникой изготовления образцов, предназначенных для изучения микроструктуры.
3	2	Процесс кристаллизации	Знакомство с устройством биологического микроскопа. Изучение процесса кристаллизации металлов на примере
4	2	Определение твердости по методу Роквелла	Изучение механических свойств металлов и способов их определения. Знакомство с устройством твердомера ТК-2 и приобретение навыков работы на
5	2	Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов	Изучение структур чистых металлов и двойных сплавов на примере системы свинец - сурьма, медь - никель и зарисовка их
6	2	Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии	Изучение микроструктур сталей, содержащих различное количество углерода Определение содержания
7	2	Изучение микроструктуры чугунов	Определение вида чугуна по его структуре. Изучение свойств чугунов.
8	2	Закалка стали в различных средах	Изучение влияния различных охлаждающих сред на превращение аустенита при закалке путем контроля твердости.
9	2	Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей	Изучение микроструктур термически обработанных сталей (закалка, различные виды отпуска)

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Кристаллическое строение металлов, характеристики кристаллической решетки. Основные типы кристаллических систем.
2. Реальное строение металлических кристаллов.
3. Энергетические условия и механизм процесса кристаллизации, строение слитка.
4. Основы теории сплавов. Взаимодействие компонентов, образующих сплав, в твердом состоянии.
5. Диаграммы состояния, экспериментальное построение диаграмм.
6. Диаграммы состояния I - IV рода.
7. Закон Курнакова.
8. Превращения в твердом состоянии. Аллотропия.
9. Диаграмма состояния железо - углерод. Структурные составляющие диаграммы, критические линии и точки.
10. Превращения в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении. 11. Классификация углеродистых сталей. Строительные, машиностроительные, инструментальные стали.
12. Влияние примесей на свойства стали.
13. Классификация чугунов. Структура и свойства.
14. Процесс получения серых, ковких, высокопрочных, белых чугунов. Область применения и маркировка.
15. Классификация видов термической обработки.
16. Виды отжига, температурные режимы, превращения протекающие в стали. Назначение.
17. Упрочняющие виды термической обработки, температурные режимы, превращения.
18. Виды отпуска, назначение, превращения, структура.
19. Химико -термическая обработка: цементация, азотирование, цианирование, диффузионная металлургия.
20. Легированные стали и сплавы, классификация и маркировка.
21. Дефекты легированных сталей.

22. Влияние легирующих элементов на свойства сталей.
23. Строительные легированные стали.
24. Машиностроительные легированные стали.
25. Пружинно - рессорные легированные стали.
26. Шарикоподшипниковые стали.
27. Инструментальные легированные стали: для измерительного и режущего инструмента, штамповые стали.
28. Стали с особыми свойствами: нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие и износостойкие.
29. Алюминий и сплавы на его основе, химический состав, область применения, маркировка.
30. Медь и сплавы на ее основе.
31. Титан и сплавы на его основе.
32. Магний и сплавы на его основе.
33. Механические свойства металлов и методы их определения.
34. Технологические свойства металлов и методы проведения технологических проб.
35. Металлургическое производство. Производство чугуна.
36. Производство стали различными способами.
37. Обработка металлов давлением, физико - механические основы обработки металлов давлением.
38. Прокатное производство. Инструмент и оборудование.
39. Процессковки. Инструмент и оборудование.
40. Горячая объемная штамповка, способы, оборудование и инструмент.
41. Процесс прессования, способы, оборудование.
42. Процесс волочения, способы, оборудование.
43. Литейное производство, литейные свойства металлов.
44. Изготовление отливок в песчано - глинистых формах.
45. Литье в оболочковые формы.
46. Литье по выплавляемым моделям.

47. Литье в кокиль.
48. Литье под давлением.
49. Центробежное литье.
50. Физические основы получения сварного шва, виды сварных соединений.
51. Электродуговая сварка: ручная, автоматическая под слоем флюса, в защитном газе.
52. Термическая резка металлов.
53. Термомеханическая сварка: контактная, стыковая, точечная, шовная.
54. Механическая сварка: трением, ультразвуковая, взрывом.
55. Пайка металлов и сплавов.
56. Технология обработки заготовок деталей машин резанием.
57. Классификация металлорежущих станков.
58. Характеристика метода точения.
59. Характеристика метода сверления.
60. Характеристика метода фрезерования.
61. Характеристика метода протягивания.
62. Характеристика метода шлифования.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Материаловедение и технология металлов. Под ред. Г.П. Фетисова. М.: Высшая школа. 2001 г.
2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Под ред. В.С. Чередниченко. Т. 1, Т. 2. Новосибирск: НГТУ. 2004 г.

Дополнительная:

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. М.: Издательство «Машиностроение». 1986 г.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Издательство «Металлургия». 1977.
3. Кнорозов Б.В. Технология металлов. М.: Издательство «Металлургия». 1978.
4. Геллер Ю.А. Материаловедение. М.: Издательство «Металлургия». 1983 .
5. Самохоцкий А.И. Лабораторные работы по материаловедению и термической обработке металлов. М.: Издательство «Машиностроение». 1981.
6. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. М.: Издательство «Машиностроение». 1985.
7. Справочник металлиста. Под ред. Д.Т.Н. А.Г. Рахштадта, М.: Машиностроение, 1976г
8. Основы материаловедения и термической обработки. М.Н. Кунявский, А.И. Самохоцкий. М.: 1955 г.
9. Материаловедение. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. М.Машиностроение.; 1980 г.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5. Методические указания к выполнению лабораторных работ по технологии конструкционных материалов. Составители: ст. преп. Н.А. Волкова, К.Е. Бояркин. Благовещенск 1990 г.
6. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова, к.т.н. Е.Ф. Дегтярев. Благовещенск 1989 г.
7. Методические указания к практическим заданиям по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова. Благовещенск 1990г.
8. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: Волкова Н.А., Соловьев В.В., Бочкарева И.Ю. Благовещенск: АмГУ. 2004 г.

Критерии оценки при сдаче экзамена

1. К сдаче экзамена допускаются студенты:

- посетившие все лекционные, лабораторные занятия данного курса;
- защитившие лабораторные работы;
- выполнившие все работы по промежуточному контролю знаний на положительную оценку.

При наличии пропусков и неудовлетворительных оценок темы пропущенных занятий должны быть отработаны.

Программные вопросы к экзамену доводятся до сведения студентов за месяц до экзамена.

2. Критерии оценки:

Итоговая оценка знаний студентов должна устанавливать активность и текущую успеваемость студентов в течение семестра по данному предмету.

Оценка «отлично» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 90 - 100 % правильных ответов на экзамене.

Оценка «хорошо» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 70 - 90 % правильных ответов на экзамене.

Оценка «удовлетворительно» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 50 - 70 % правильных ответов на экзамене.

«неудовлетворительно» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, до 50 % правильных ответов на экзамене.

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
Е.С. Астапова

_____ подпись, И.О.Ф

«__» _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по *Основам материаловедения.*

Спец.практику по основам материаловедения

для специальности *010701 - физика*

Курс 4

Семестр 8

Лекции 54 (час.)

Экзамен - 8 семестр

Зачет – 8 семестр (спец. практикум по основам
материаловедения)

Лабораторные занятия (спец. практикум по основам материаловедения) – 18
(час)

Самостоятельная работа (по лекционному курсу) – 28 (час.)

Самостоятельная работа (спец. практикум по основам материаловедения) – 14
(час.)

Всего часов -114

Основы материаловедения – 82 (час.)

Спец. практикум по основам материаловедения – 32 (час.)

Составитель ст.преподаватель Волкова Н.А.

Факультет *инженерно - физический*

Кафедра *физического материаловедения и лазерных технологий*

2007 г.

Рабочая программа составлена на основании авторских разработок

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физического материаловедения и лазерных технологий

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ д.ф.-м.н. Астапова Е.С.

Рабочая программа одобрена на заседании УМС _____
(наименование специальности)

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____ .

Зав.кафедрой _____
подпись _____ Ф.И.О. _____

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Цель преподавания дисциплины:

Курс «Материаловедение и технология обработки материалов» знакомит студентов с основами строения сплавов, их поведения в процессе термической обработки и пластической деформации, свойствами и назначением промышленных сплавов, способами обработки конструкционных материалов.

Целью изучения дисциплины является познание природы и свойств металлических материалов для наиболее эффективного использования их в технике, и изучение способов их обработки.

1.2. Основные знания, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

Изучение данного курса и выполнение лабораторных работ обеспечит приобретение студентами теоретических и практических навыков в вопросах материаловедения и технологии конструкционных материалов.

1.3. Основные умения, приобретаемые студентами при изучении дисциплины.

При конструировании машин, узлов и их деталей студент должен выбирать материалы для деталей, отвечающие предъявленным к ним требованиям, уметь выбирать режимы термической обработки, и способы получения заготовок.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1. Введение. Содержание курса и его значение в подготовке инженеров машиностроительных специальностей. (2 часа).
2. Строение и основные свойства металлов и сплавов. Атомно-кристаллическое строение металлов. Дефекты строения реальных металлов и сплавов. Кристаллизация металлов. (4 часа.)
3. Аллотропические превращения в металлах. Теоретические основы физики твердого тела. Индексы и плоскости Миллера. Аллотропия (полиморфизм). Понятие о строении сплавов. Основные типы диаграмм двухкомпонентных систем. Правило фаз и отрезков. (4 часа.)
4. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния системы железо-углерод. Микроструктура железоуглеродистых сплавов. Влияние постоянных примесей (N, S, P, Si, Mn) на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сплавов и чугунов. Методы их определения. ГОСТы на стали и чугуны. Влияние методов получения стали на ее свойства. (6 часов.)
5. Основы термической обработки стали. Виды термической обработки. Превращение при нагреве и охлаждении. Виды отжига. Старение сплавов. Превращение при отжиге. Прокаливаемость стали. Технология закали и отпуска стали, виды закали (ступенчатая, изотермическая). Дефекты закали. Поверхностная закали стали, газопламенная и с нагревом ТВЧ. Термомеханическая обработка стали. Остаточные напряжения при термической обработке и их влияние на свойства стали. Техника безопасности при термической обработке стали.(6 часов.)
6. Химико-термическая обработка стали. Цементация, нитроцементация, азотирование. Основные параметры процессов и области их применения. Диффузионная металлизация. (2 часа.)
7. Легированные стали и сплавы. Влияние легирующих элементов на строение и свойства стали. Конструкционные легированные стали, их маркировка и области применения. Инструментальные стали и сплавы, их маркировка и области применения. (6 часов.)
8. Стали и сплавы с особыми свойствами - нержавеющие, износостойкие,

жаропрочные. Мартенситно-старяющие стали. (6 часов.)

9.Цветные металлы и сплавы. Медь и ее сплавы, применение медных сплавов в промышленности. Алюминий и его сплавы, применение алюминиевых сплавов в промышленности. Магний и его сплавы. Титан и его сплавы. Подшипниковые сплавы. (6 часов.)

10. Композиционные и неметаллические материалы. Металло- и минералокерамика. Композиционные материалы. Основы строения и их свойства. Неметаллические полимерные материалы. Экономическая эффективность применения в машиностроении. Современные тенденции повышения качества материалов в машиностроении. (4 часа.)

11. Обработка металлов давлением. Физико - механические основы обработки металлов давлением. Прокатное производство. Термические режимы. Оборудование. Ковка, основные операции и применяемый инструмент, оборудование. Горячая объемная штамповка. Оборудование и инструмент. Отделочные операции. Холодная штамповка. Прессование, волочение. (4 часа.)

12. Литейное производство. Теоретические основы производства отливок. Литье в песчано - глинистые формы. Специальные способы литья. Конструирование литых деталей. Дефекты отливок и методы их устранения. (4 часа.)

13.Технология обработки металлов резанием. Физико — механические основы процесса резания. Кинематические и геометрические параметры процесса резания. Классификация оборудования. Режущий инструмент. (4 часа.)

СПИСОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№	Объем в часах	Наименование	Характер и цель занятий
1	2	3	4

1	4	Изучение устройства металлографического микроскопа МИМ-7	Приобретение навыков работы с микроскопом МИМ-7. Освоение методики исследования микроструктур металлов и
2	2	Изготовление микрошлифа	Практическое ознакомление студентов с техникой изготовления образцов, предназначенных для изучения
3	2	Процесс кристаллизации	Знакомство с устройством биологического микроскопа. Изучение процесса кристаллизации металлов на
4	2	Определение твердости по методу Роквелла	Изучение механических свойств металлов и способов их определения. Знакомство с устройством твердомера ТК-2 и приобретение навыков работы на
5	2	Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов	Изучение структур чистых металлов и двойных сплавов на примере системы свинец - сурьма, медь - никель и
6	2	Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии	Изучение микроструктур сталей, содержащих различное количество углерода Определение содержания
7	2	Изучение микроструктуры чугунов	Определение вида чугуна по его структуре. Изучение свойств чугунов.
8	2	Закалка стали в различных средах	Изучение влияния различных охлаждающих сред на превращение аустенита при закалке путем контроля
9	2	Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей	Изучение микроструктур термически обработанных сталей (закалка, различные виды отпуска).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

3. Материаловедение и технология металлов. Под ред. Г.П. Фетисова. М.: Высшая школа. 2001 г.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Под ред. В.С. Чередниченко. Т. 1, Т. 2. Новосибирск: НГТУ. 2004 г.

Дополнительная:

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. М.: Издательство «Машиностроение». 1986.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Издательство «Металлургия». 1977.
3. Кнорозов Б.В. Технология металлов. М.: Издательство «Металлургия». 1978.
4. Геллер Ю.А. Материаловедение. М.: Издательство «Металлургия». 1983.
5. Самохоцкий А.И. Лабораторные работы по материаловедению и термической обработке металлов. М.: Издательство «Машиностроение». 1981.
6. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. М.: Издательство «Машиностроение». 1985.
7. Справочник металлиста. Под ред. Д.Т.Н. А.Г. Рахштадта, М.: Машиностроение, 1976г
8. Основы материаловедения и термической обработки. М.Н. Кунявский, А.И. Самохоцкий. М.: 1955 г.
9. Материаловедение. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. М.Машиностроение.; 1980 г.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по технологии конструкционных материалов. Составители: ст. преп. Н.А. Волкова, К.Е. Бояркин. Благовещенск 1990 г.
2. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова, к.т.н. Е.Ф. Дегтярев. Благовещенск 1989 г.
3. Методические указания к практическим заданиям по материаловедению. Составители: д.т.н. Б.А. Виноградов, ст. преп. Н.А. Волкова. Благовещенск 1990 г.
4. Лабораторный практикум по материаловедению. Составители: Волкова Н.А., Соловьев В.В., Бочкарева И.Ю. Благовещенск: АмГУ. 2004 г.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Кристаллическое строение металлов, характеристики кристаллической решетки. Основные типы кристаллических систем.
2. Реальное строение металлических кристаллов.
3. Энергетические условия и механизм процесса кристаллизации, строение слитка.
4. Основы теории сплавов. Взаимодействие компонентов, образующих сплав, в твердом состоянии.
5. Диаграммы состояния, экспериментальное построение диаграмм.
6. Диаграммы состояния I - IV рода.
7. Закон Курнакова.
8. Превращения в твердом состоянии. Аллотропия.
9. Диаграмма состояния железо - углерод. Структурные составляющие диаграммы, критические линии и точки.
10. Превращения в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении. 11. Классификация углеродистых сталей. Строительные, машиностроительные, инструментальные стали.
12. Влияние примесей на свойства стали.
13. Классификация чугунов. Структура и свойства.
14. Процесс получения серых, ковких, высокопрочных, белых чугунов. Область применения и маркировка.
15. Классификация видов термической обработки.
16. Виды отжига, температурные режимы, превращения протекающие в стали. Назначение.
17. Упрочняющие виды термической обработки, температурные режимы, превращения.
18. Виды отпуска, назначение, превращения, структура.
19. Химико -термическая обработка: цементация, азотирование, цианирование, диффузионная металлургия.
22. Легированные стали и сплавы, классификация и маркировка.
23. Дефекты легированных сталей.

22. Влияние легирующих элементов на свойства сталей.
23. Строительные легированные стали.
24. Машиностроительные легированные стали.
25. Пружинно - рессорные легированные стали.
26. Шарикоподшипниковые стали.
27. Инструментальные легированные стали: для измерительного и режущего инструмента, штамповые стали.
28. Стали с особыми свойствами: нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие и износостойкие.
29. Алюминий и сплавы на его основе, химический состав, область применения, маркировка.
30. Медь и сплавы на ее основе.
31. Титан и сплавы на его основе.
32. Магний и сплавы на его основе.
33. Механические свойства металлов и методы их определения.
34. Технологические свойства металлов и методы проведения технологических проб.
35. Металлургическое производство. Производство чугуна.
36. Производство стали различными способами.
37. Обработка металлов давлением, физико - механические основы обработки металлов давлением.
38. Прокатное производство. Инструмент и оборудование.
39. Процессковки. Инструмент и оборудование.
40. Горячая объемная штамповка, способы, оборудование и инструмент.
41. Процесс прессования, способы, оборудование.
42. Процесс волочения, способы, оборудование.
43. Литейное производство, литейные свойства металлов.
44. Изготовление отливок в песчано - глинистых формах.
45. Литье в оболочковые формы.
46. Литье по выплавляемым моделям.

- 50.Литье в кокиль.
- 51.Литье под давлением.
- 52.Центробежное литье.
- 50.Физические основы получения сварного шва, виды сварных соединений.
- 51. Электродуговая сварка: ручная, автоматическая под слоем флюса, в защитном газе.
- 52. Термическая резка металлов.
- 53. Термомеханическая сварка: контактная, стыковая, точечная, шовная.
- 54. Механическая сварка: трением, ультразвуковая, взрывом.
- 55. Пайка металлов и сплавов.
- 56. Технология обработки заготовок деталей машин резанием.
- 57. Классификация металлорежущих станков.
- 58. Характеристика метода точения.
- 59. Характеристика метода сверления.
- 60. Характеристика метода фрезерования.
- 61 .Характеристика метода протягивания.
- 62. Характеристика метода шлифования.

Критерии оценки при сдаче экзамена

1. К сдаче экзамена допускаются студенты:

- посетившие все лекционные, лабораторные занятия данного курса;
- защитившие лабораторные работы;
- выполнившие все работы по промежуточному контролю знаний на положительную оценку.

При наличии пропусков и неудовлетворительных оценок темы пропущенных занятий должны быть отработаны.

Программные вопросы к экзамену доводятся до сведения студентов за месяц до экзамена.

2. Критерии оценки:

Итоговая оценка знаний студентов должна устанавливать активность и текущую успеваемость студентов в течение семестра по данному предмету.

Оценка «отлично» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 90 - 100 % правильных ответов на экзамене.

Оценка «хорошо» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 70 - 90 % правильных ответов на экзамене.

Оценка «удовлетворительно» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, при 50 - 70 % правильных ответов на экзамене.

«неудовлетворительно» - ставится при наличии всех защищенных лабораторных работ, до 50 % правильных ответов на экзамене.

4. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Материаловедение

Введение

Материаловедение относится к числу основополагающих дисциплин для машиностроительных специальностей. Это связано с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства и во многом определяют уровень своего развития научно-технический и экономический потенциал страны. Проектирование рациональных, конкурентно-способных изделий, организация их производства невозможны без достаточного уровня знаний в области материаловедения.

Материаловедение является основой для изучения многих специальных дисциплин.

Разнообразие свойств материалов является главным фактором, предопределяющим их широкое применение в технике. Материалы обладают отличающимися друг от друга свойствами, причем каждое зависит от особенностей внутреннего строения материала. В связи с этим материаловедение как наука занимается изучением строения материала в тесной связи с их свойствами. Основные свойства материалов можно подразделить на физические, механические, технологические и эксплуатационные.

От физических и механических свойств зависят технологические и эксплуатационные свойства материалов.

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

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

В настоящих лекциях рассмотрены физические основы строения и свойств конструкционных материалов, приводятся широко используемые методы определения механических свойств материалов при различных видах нагружения, излагаются основы термической обработки и поверхностного упрочнения деталей, даются характеристики основных групп конструкционных материалов.

Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Целью преподавания дисциплины является научить инженеров применять основные методы управления конструкционной прочностью материалов и проводить обоснованный выбор материала для изделий с учетом условий их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели при изучении дисциплины решаются следующие основные задачи:

- приобретение знаний по оценке технических свойств материалов, исходя из условий эксплуатации и изготовления изделия;
- формирование научно обоснованных представлений о возможностях рационального изменения технических свойств материала путем изменения его структуры;
- ознакомление со способами упрочнения материалов, обеспечивающими надежность изделий и инструментов;
- ознакомление с основными группами современных материалов, их свойствами и областью применения.

Преподавание дисциплины базируется на знаниях, полученных в курсе «Физика»:

На момент начала изучения дисциплины «Материаловедение» студентам необходимо знание следующих понятий: нагрузка, напряжение, деформация упругая и пластическая, работа, энергия, агрегатное состояние вещества, термодинамическая система, параметры термодинамической системы, внутренняя энергия, атомно-кристаллическое строение металлов, типы связей частиц в твердом теле, основные физические свойства металлов.

Материаловедение подготавливает студента к освоению специальных дисциплин изучающих основные производственные технологии и процессы.

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

Библиографический список

1. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки. – М.: Металлургия, 1986.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1989.
3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986.
4. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин А.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981
6. Лахтин Ю.М. Основы материаловедения. – М.: Металлургия, 1988.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.
8. Материаловедение./ Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986.
9. Материаловедение и конструкционные материалы. \ Л.М. Пинчук и др. Минск: Высш. шк., 1989.
10. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высш.шк., 2002.
11. Металловедение / А.И. Самохоцкий, М.Н. Кунявский, Т.М. Кунявская и др. – М.: Металлургия, 1990.

12. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т.1, Т.2, Т.3 – М.: Металлургия, 1983.
13. Мозберг Р.К. Материаловедение. – М.: Высш. шк., 1991.
14. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1986.
15. Технология металлов и материаловедение /Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяков и др. – М.:Металлургия, 1987.
16. Технология металлов и конструкционные материалы, / Б.А. Кузьмин, Ю.Е. Абраменко, М.А. Кудрявцев и др. – М.: Машиностроение, 1989.

Лекция 1

Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов.

1. [Металлы, особенности атомно-кристаллического строения](#)
2. [Понятие об изотропии и анизотропии](#)
3. [Аллотропия или полиморфные превращения.](#)
4. [Магнитные превращения](#)

Материаловедение - это наука о взаимосвязи электронного строения, структуры материалов с их составом, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Создание научных основ металловедения по праву принадлежит Чернову Д.К., который установил критические температуры фазовых превращений в сталях и их связь с количеством углерода в сталях. Этим были заложены основы для важнейшей в металловедении диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.

Открытием аллотропических превращений в сталях, Чернов заложил фундамент термической обработки стали. Критические точки в сталях, позволили рационально выбирать температуру ее закалки, отпуска и пластической деформации в производственных условиях.

В своих работах по кристаллизации стали, и строению слитка Чернов изложил основные положения теории литья, не утратившие своего научного и практического значения в настоящее время.

Великий русский металлург Аносов П.П. впервые применил микроскоп для исследования структуры металлов. Ему принадлежит приоритет в создании легированных сталей. Разработал теорию и технологию изготовления клинков из булатной стали. Из его работ стало ясно, что так называемый булатный узор на поверхности стали, непосредственно зависит от ее внутренней структуры.

В 1873-1876 г.г Гиббс изложил основные законы фазового равновесия и, в частности, правило фаз, основываясь на законах термодинамики. Для решения практических задач знание фазового равновесия в той или иной системе необходимо, но не достаточно для определения состава и относительного количества фаз. Обязательно знать структуру сплавов, то есть атомное строение фаз, составляющих сплав, а также распределение, размер и форму кристаллов каждой фазы.

Определение атомного строения фаз стало возможным после открытия Лауэ (1912 г), показавшего, что атомы в кристалле регулярно заполняют пространство, образуя пространственную дифракционную решетку, и что рентгеновские лучи имеют волновую природу. Дифракция рентгеновских лучей на такой решетке дает возможность исследовать строение кристаллов.

В последнее время для структурного анализа, кроме рентгеновских лучей, используют электроны и нейтроны. Соответствующие методы исследования называются электронографией и нейтронографией. Электронная оптика позволила усовершенствовать микроскопию. В настоящее время на электронных микроскопах полезное максимальное увеличение доведено до 100000 раз.

В пятидесятых годах, когда началось исследование природы свойств металлических материалов, было показано, что большинство наиболее важных свойств, в том числе сопротивление пластической деформации и разрушению в различных условиях нагружения, зависит от особенностей тонкого кристаллического строения. Этот вывод способствовал привлечению физических теорий о строении реальных металлов для объяснения многих непонятных явлений и для конструирования сплавов с заданными механическими свойствами. Благодаря теории дислокаций, удалось получить достоверные сведения об изменениях в металлах при их пластической деформации.

Особенно интенсивно развивается металловедение в последние десятилетия. Это объясняется потребностью в новых материалах для исследования космоса, развития электроники, атомной энергетики.

Основными направлениями в развитии металловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты, с которыми преимущественно работают. Генеральной задачей материаловедения является создание материалов с заранее рассчитанными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление).

До настоящего времени основной материальной базой машиностроения служит черная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки как большая плотность, низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20% годового производства стали и чугуна. Поэтому, по данным научных исследований, через 20...40 лет все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов на базе титана, магния, алюминия. Эти легкие и прочные сплавы позволяют в 2-3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз уменьшить расходы на ремонт.

По данным института имени Байкова А.Н. в нашей стране есть все условия чтобы в течении 10...15 лет машиностроение могло перейти на выпуск алюминиево-титановой подвижной техники, которая отличается легкостью, коррозионной стойкостью и большим безремонтным ресурсом.

Важное значение имеет устранение отставания нашей страны в области использования новых материалов взамен традиционных (металлических) – пластмасс, керамики, материалов порошковой металлургии, особенно

композиционных материалов, что экономит дефицитные металлы, снижает затраты энергии на производство материалов, уменьшает массу изделий.

Расчетами установлено, что замена ряда металлических деталей легкового автомобиля на углепластики из эпоксидной смолы, армированной углеродными волокнами, позволит уменьшить массу машины на 40%; она станет более прочной; уменьшится расход топлива, резко возрастет стойкость против коррозии.

Металлы, особенности атомно-кристаллического строения

В огромном ряду материалов, с незапамятных времен известных человеку и широко используемых им в своей жизни и деятельности, металлы всегда занимали особое место.

Подтверждение этому: и в названиях эпох (золотой, серебряный, бронзовый, железный века), на которые греки делили историю человечества: и в археологических находках металлических изделий (кованые медные украшения, сельскохозяйственные орудия); и в повсеместном использовании металлов и сплавов в современной технике.

Причина этого - в особых свойствах металлов, выгодно отличающих их от других материалов и делающих во многих случаях незаменимыми.

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определенным набором свойств:

- «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- пластичность;
- высокая теплопроводность;
- высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитали вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объему металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов.

Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием *кристаллическая решетка*.

Другими словами, кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

- размеры ребер элементарной ячейки. a, b, c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными.
- углы между осями (α, β, γ).
- координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.
- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.
- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74)

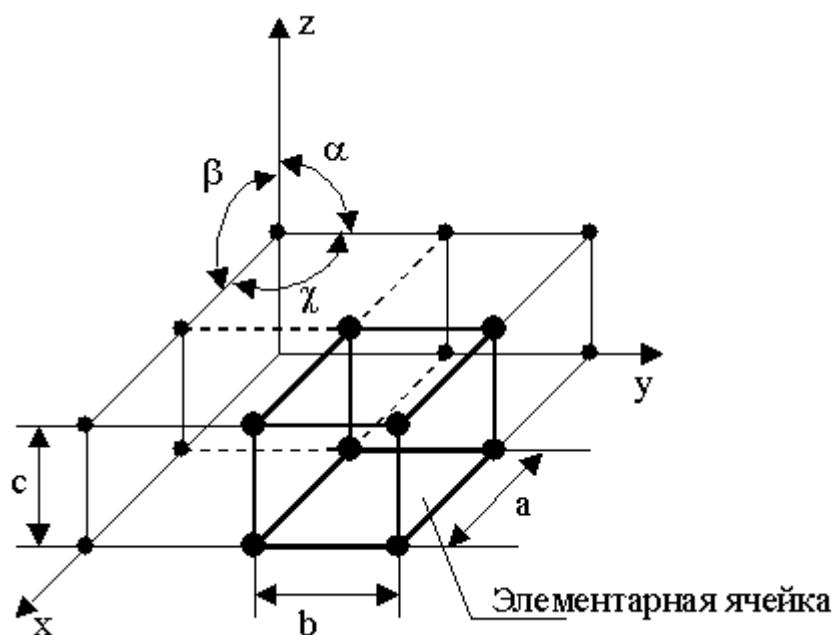


Рис.1.1. Схема кристаллической решетки

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа;

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

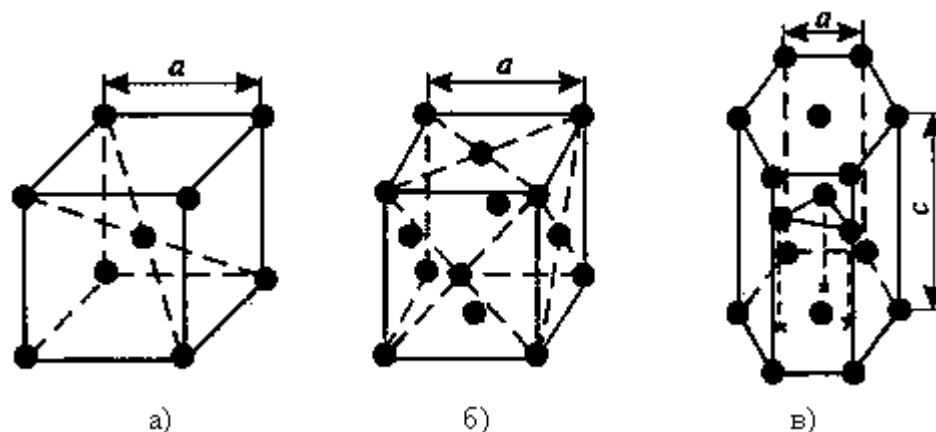


Рис. 1.2. Основные типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная кубическая; б– гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная

Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (см. рис.1.2а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe_{α})
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (см. рис. 1.2б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней (Ag, Au, Fe_{γ})
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
 - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
 - плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк).

Понятие об изотропии и анизотропии

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела *изотропны*

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется *анизотропией*

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле.

Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется *кристаллографической плоскостью*.

Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется *кристаллографическим направлением*.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются *индексами Миллера*. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

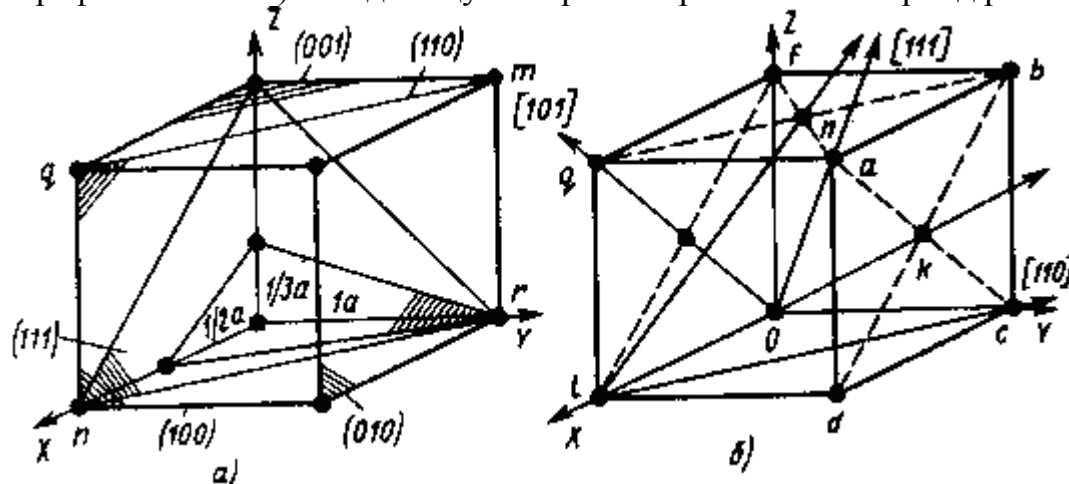


Рис.1.3. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)

Для определения индексов кристаллографической кристаллографической плоскости необходимо:

- установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки;
- взять обратные значения этих величин;
- привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рис. 1.3 а.

Другими словами, индекс по оси показывает на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110)

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо:

- одну точку направления совместить с началом координат;
- установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки
- привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел.

Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках $[111]$

В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы $[hkl]$.

Аллотропия или полиморфные превращения.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется *аллотропией* или *полиморфизмом*.

Каждый вид решетки представляет собой *аллотропическое видоизменение* или *модификацию*.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

$Fe: t < 911^{\circ}C$ – ОЦК - Fe_{α} ;

$911 < t < 1392^{\circ}C$ – ГЦК - Fe_{γ} ;

$1392 < t < 1539^{\circ}C$ – ОЦК - Fe_{δ} ; (высокотемпературное Fe_{α})

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

Магнитные превращения

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа – $768^{\circ}C$). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

Лекция 2

Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения

1. Точечные дефекты
2. Линейные дефекты:
3. Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют неправильную форму и различно

ориентированы в пространстве. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдается

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

Точечные дефекты

Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей. (рис. 2.1.)

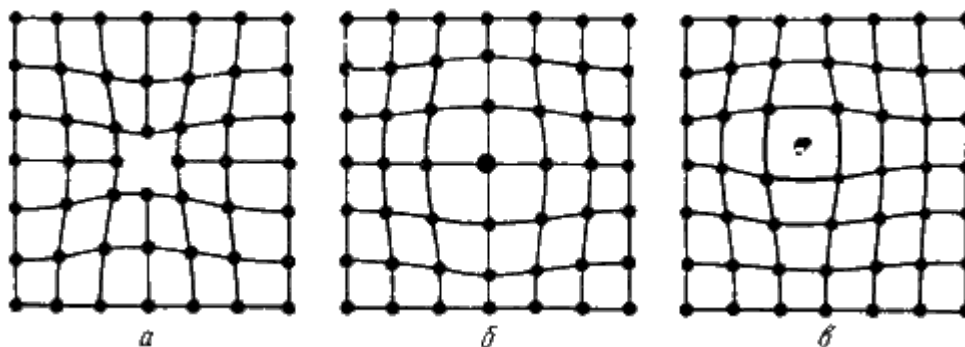


Рис.2.1. Точечные дефекты

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронной облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их

наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты:

Основными линейными дефектами являются дислокации. Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орована и Тейлером при исследовании пластической деформации кристаллических материалов, для объяснения большой разницы между практической и теоретической прочностью металла.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.

Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней” полуплоскости (рис. 2.2)

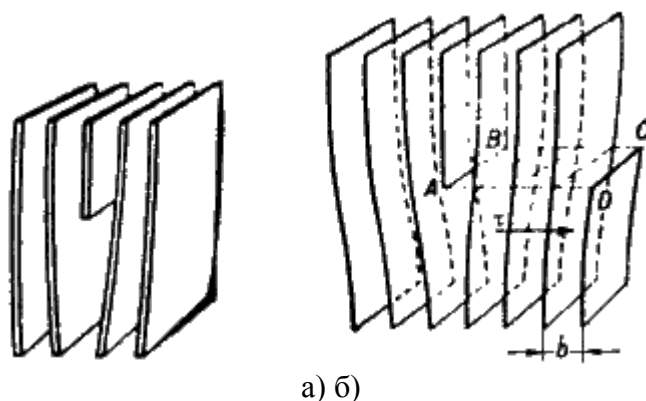


Рис. 2.2. Краевая дислокация (а) и механизм ее образования (б)

Неполная плоскость называется *экстраплоскостью*.

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD, сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном АВ, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза внизу.

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки) (рис. 2.3).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная (\perp), если в нижней, то – отрицательная ($\bar{\perp}$). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

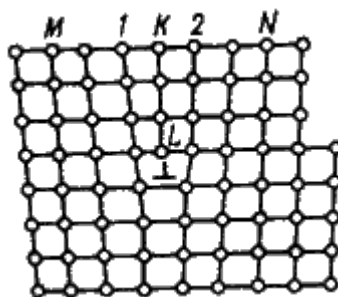


Рис. 2.3. Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название *винтовая дислокация*

Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рис. 2.4) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки E до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация *правая*, а если поворотом против часовой стрелки – *левая*.

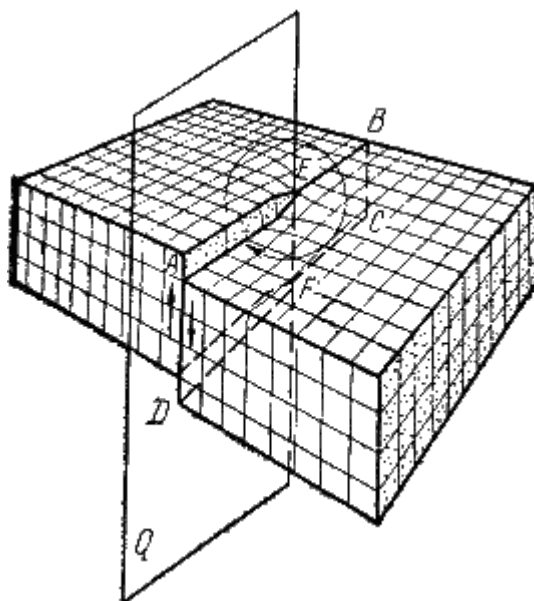


Рис. 2.4. Механизм образования винтовой дислокации

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется *плотностью дислокаций*.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3

$$\rho = \frac{\sum l}{V} \text{ (см}^{-2}\text{; м}^{-2}\text{)}$$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$.

Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала (рис. 2.5)

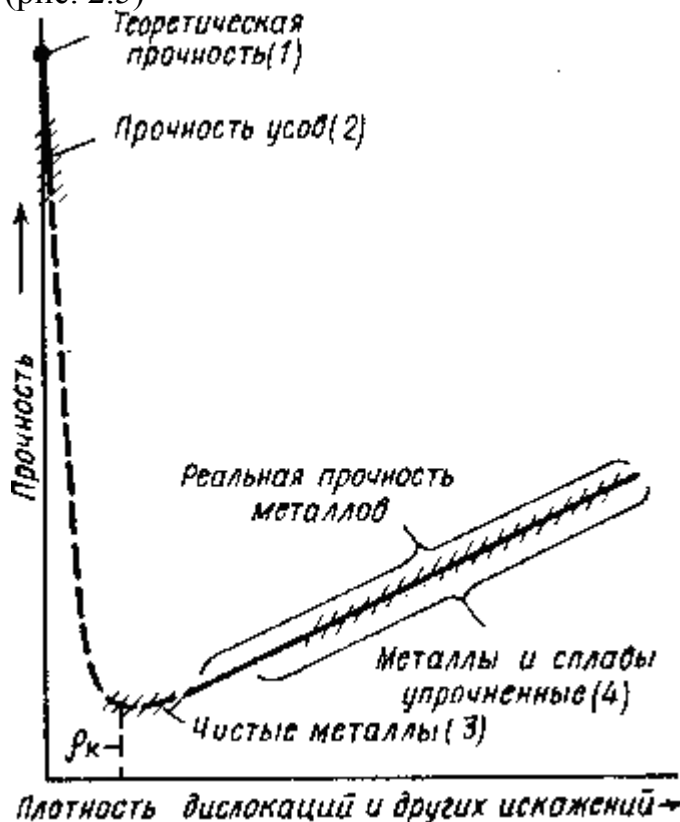


Рис. 2.5. Влияние плотности дислокаций на прочность

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций $\rho = 10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$

Если плотность меньше значения a , то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной 0,5... 20 мкм – “усы” с прочностью, близкой к теоретической: для железа $\sigma_B = 13000 \text{ МПа}$, для меди $\sigma_B = 30000 \text{ МПа}$. При упрочнении металлов увеличением плотности

дислокаций, она не должна превышать значений $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$. В противном случае образуются трещины.

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки. При перемещении вакансий внутри кристалла, они концентрируются, образуя полости в виде дисков. Если такие диски велики, то энергетически выгодно “захлопывание” их с образованием по краю диска краевой дислокации. Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.

Поверхностные дефекты – границы зерен, фрагментов и блоков (рис. 2.6).

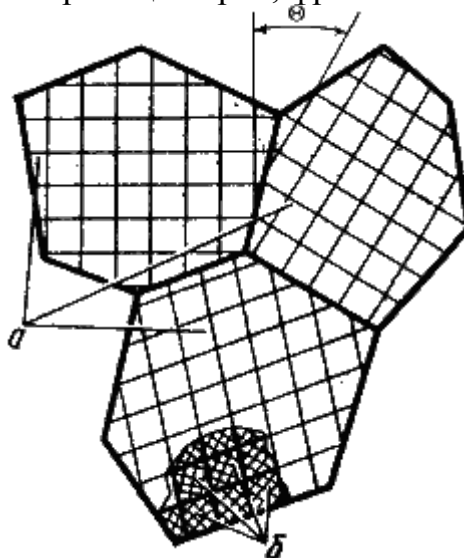


Рис. 2.6. Разориентация зерен и блоков в металле

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов (θ).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов (θ_1). Эти участки называются *фрагментами*. Процесс деления зерен на фрагменты называется *фрагментацией* или *полигонизацией*.

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10 мкм, разориентированных на угол менее одного градуса (θ_2). Такую структуру называют *блочной* или *мозаичной*.

Лекция 3

Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов.

1. Механизм и закономерности кристаллизации металлов.
2. Условия получения мелкозернистой структуры
3. Строение металлического слитка
4. Определение химического состава.
5. Изучение структуры.
6. Физические методы исследования

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 3.1.

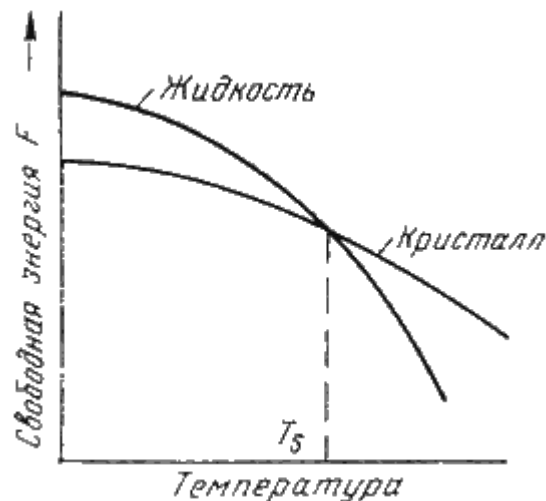


Рис.3.1. Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры T_s вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_s — в твердом.

При температуре равной T_s жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура T_s — *равновесная* или *теоретическая температура кристаллизации*.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_s . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется *фактической температурой кристаллизации*.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется *переохлаждением*, которое характеризуется *степенью переохлаждения* (ΔT):

$$\Delta T = T_{\text{теор}} - T_{\text{ф}}$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твердое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 3.2.

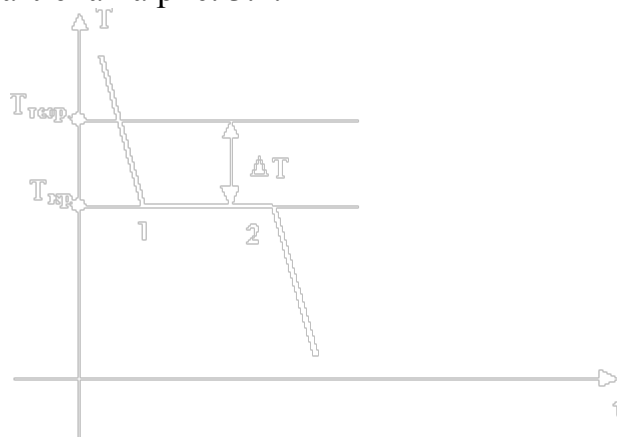


Рис.3.2. Кривая охлаждения чистого металла

$T_{\text{теор}}$ – теоретическая температура кристаллизации;

$T_{\text{ф}}$ – фактическая температура кристаллизации.

Процесс кристаллизации чистого металла:

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется *скрытой теплотой кристаллизации*. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

Механизм и закономерности кристаллизации металлов.

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – *центры кристаллизации* или *зародыши*. Для начала

их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером*, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис. 3.3.

Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

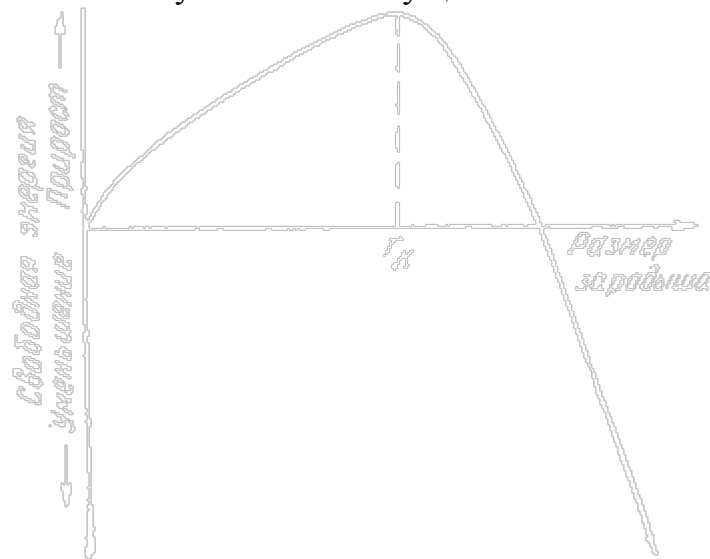


Рис.3.3. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы

Механизм кристаллизации представлен на рис.3.4.

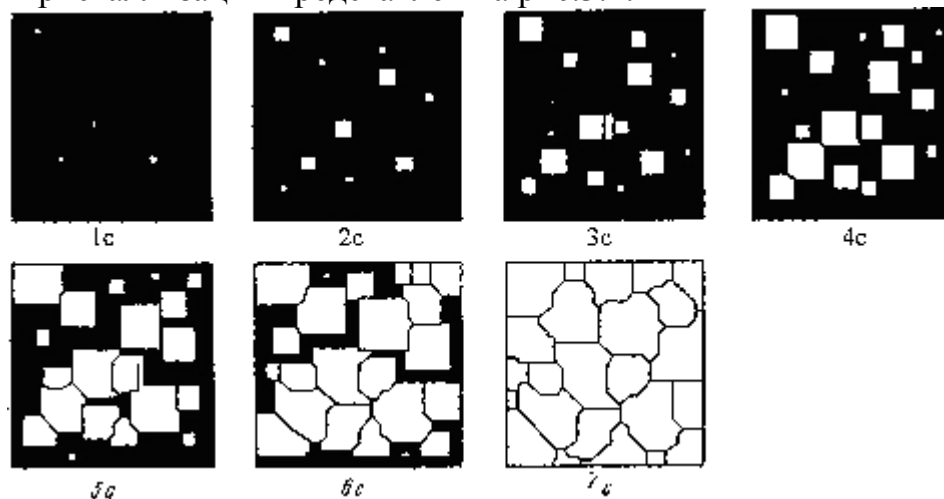


Рис.3.4. Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рис.3.5).

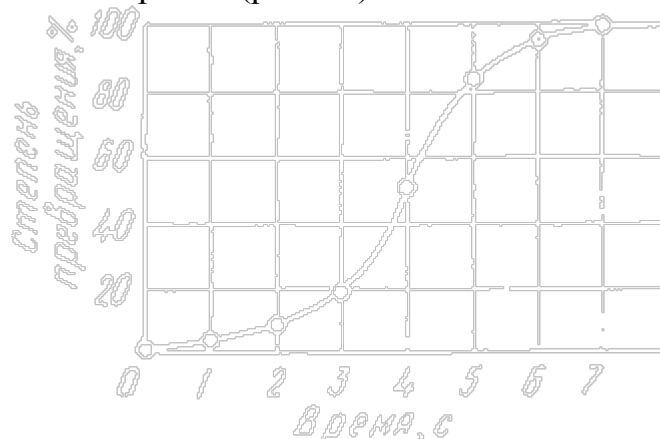


Рис. 3.5. Кинетическая кривая процесса кристаллизации

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 3.6).

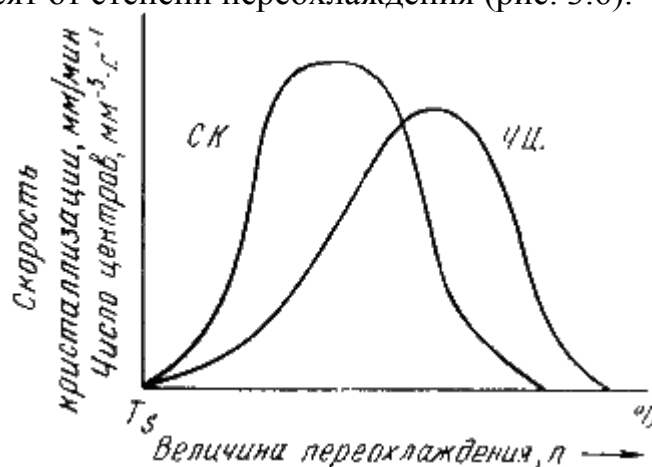


Рис. 3.6. Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации T_s число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей t_a , то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая).

При переохлаждении до температуры соответствующей $t_{\text{в}}$ – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

Условия получения мелкозернистой структуры

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате *модифицирования*, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – *модификаторы*,

По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.
2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осажаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

Строение металлического слитка

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис.3.7.

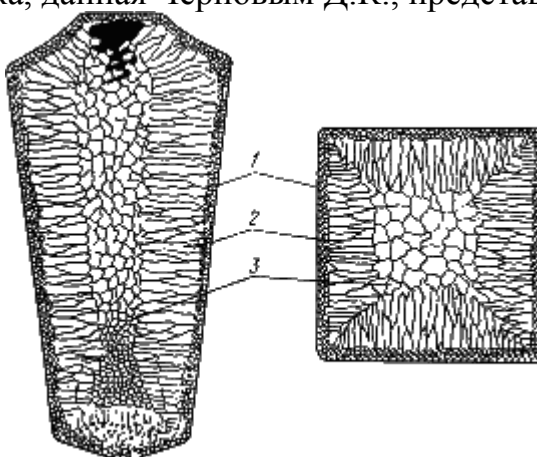


Рис. 3.7. Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

1. мелкокристаллическая корковая зона;
2. зона столбчатых кристаллов;
3. внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 3.8). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

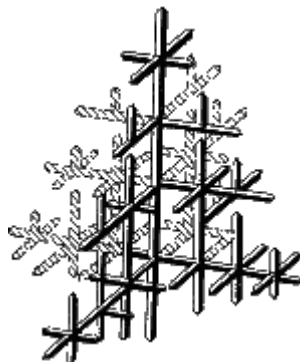


Рис.3.8. Схема дендрита по Чернову Д.К.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется *транскристаллизацией*.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

Методы исследования металлов: структурные и физические

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Определение химического состава.

Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют *спектральный анализ*.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом.

Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов.

Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает *рентгеноспектральный анализ*.

Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

Изучение структуры.

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

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

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

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

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

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

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

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

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью.

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

Просвечивающие микроскопы. Поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают *косвенные* и *прямые* методы исследования.

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

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

Растровые микроскопы. Изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается

непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

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

Физические методы исследования

1. *Термический анализ* основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2. Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

3. Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

Лекция 4

Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.

1. [Понятие о сплавах и методах их получения](#)
2. [Основные понятия в теории сплавов.](#)
3. [Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений](#)
4. [Классификация сплавов твердых растворов.](#)
5. [Кристаллизация сплавов.](#)
6. [Диаграмма состояния.](#)

Понятие о сплавах и методах их получения

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны другие способы приготовления сплавов: спекания, электролиз, возгонка. В этом случае вещества называются псевдосплавами.

Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.

Основные понятия в теории сплавов.

Система – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

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

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

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе.

Если вариантность $C = 1$ (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз.

Если вариантность $C = 0$ (нонвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе

Существует математическая связь между числом компонентов (K), числом фаз (Φ) и вариантностью системы (C). Это *правило фаз* или *закон Гиббса*

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

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

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

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

Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевании возможно различное взаимодействие компонентов.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы:

1. механические смеси;
2. химические соединения;
3. твердые растворы.

Сплавы *механические смеси* образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.

Образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, когда сила взаимодействия между однородными атомами больше чем между разнородными. Сплав состоит из кристаллов входящих в него компонентов (рис. 4.1). В сплавах сохраняются кристаллические решетки компонентов.

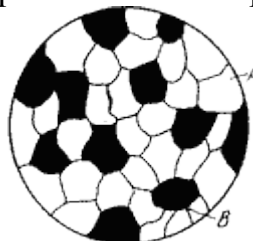


Рис. 4.1. Схема микроструктуры механической смеси

Сплавы *химические соединения* образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

Особенности этих сплавов:

1. Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается $A_n B_m$
2. Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов (рис. 4.2)
3. Ярко выраженные индивидуальные свойства
4. Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов

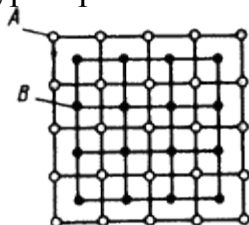
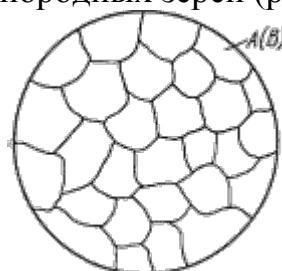


Рис. 4.2. Кристаллическая решетка химического соединения

Сплавы *твердые растворы* – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами.

Характерной особенностью твердых растворов является наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.

Твердый раствор состоит из однородных зерен (рис. 4.3).



Классификация сплавов твердых растворов.

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:

- с неограниченной растворимостью компонентов;
- с ограниченной растворимостью компонентов.

При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

1. изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
2. близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %.
3. близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела, При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы:

- замещения;
- внедрения;
- вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента (рис. 4.4 а). Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

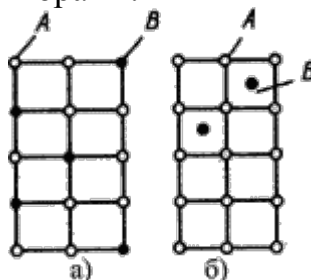


Рис.4.4. Кристаллическая решетка твердых растворов замещения (а), внедрения (б)

При образовании растворов замещения периоды решетки изменяются в зависимости от разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя. Если атом растворенного элемента больше атома растворителя, то элементарные ячейки увеличиваются, если меньше – сокращаются. В первом приближении это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента. Изменение параметров решетки при образовании твердых растворов –

важный момент, определяющий изменение свойств. Уменьшение параметра ведет к большему упрочнению, чем его увеличение.

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя (рис. 4.4 б).

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2-2.5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой. образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.

Кристаллизация сплавов.

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Необходимым условием является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

Основным отличием является большая роль диффузионных процессов, между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Эти процессы необходимы для перераспределения разнородных атомов, равномерно распределенных в жидкой фазе.

В сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры.

Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации и происходит их рост.

Обычно центры кристаллизации возникают по границам зерен старой фазы, где решетка имеет наиболее дефектное строение, и где имеются примеси, которые могут стать центрами новых кристаллов. У старой и новой фазы, в течение некоторого времени, имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной связью. В случае различия строения старой и новой фаз превращение протекает с образованием промежуточных фаз.

Нарушение когерентности и обособления кристаллов наступает, когда они приобретут определенные размеры.

Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.

Диаграмма состояния.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры (рис. 4.5)

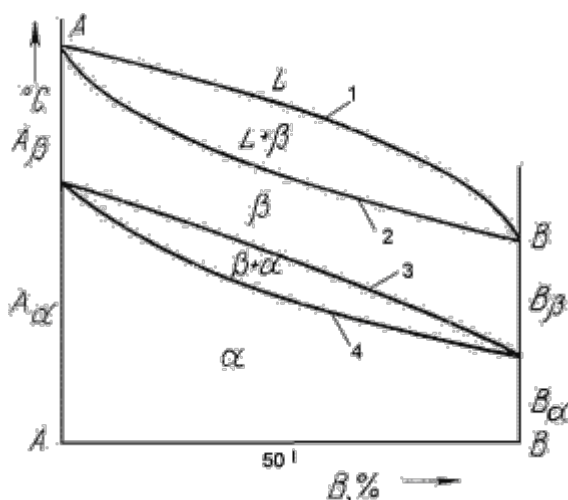


Рис. 4.5. Диаграмма состояния

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

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа.

В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

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

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

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

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

Лекция 5

Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов.

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

2. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси)
3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.
5. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость)
6. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

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

Диаграмма состояния и кривые охлаждения сплавов системы представлены на рис. 5.1.

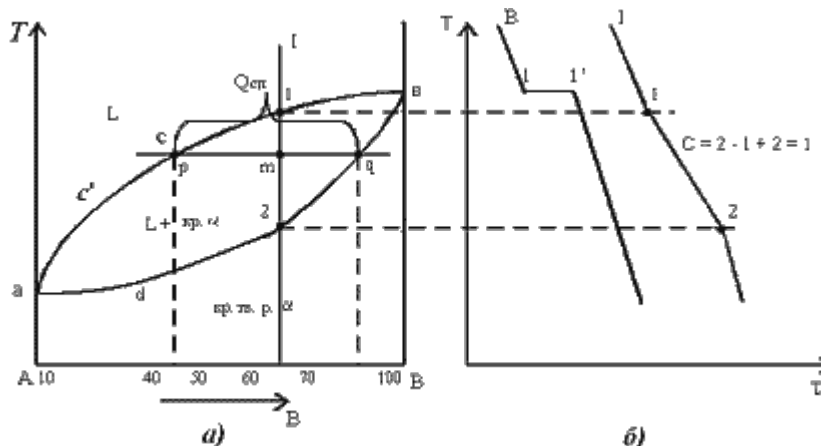


Рис.5.1 Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б)

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

Проведем анализ полученной диаграммы.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В).
2. Число фаз: $f = 2$ (жидкая фаза L, кристаллы твердого раствора α)
3. Основные линии диаграммы:

- acb – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;
- adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.

4. Характерные сплавы системы:

Чистые компоненты А и В кристаллизуются при постоянной температуре, кривая охлаждения компонента В представлена на рис. 5.1,б.

Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I, кривая охлаждения которого представлена на рис. 5.1, б.

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

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.2.

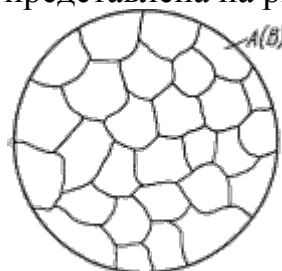


Рис. 5.2. Схема микроструктуры сплава – однородного твердого раствора

5. Количественный структурно-фазовый анализ сплава.

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

а). Определение состава фаз в точке m :

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

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

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

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

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

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

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

Количество всего сплава (Q_{cn}) определяется отрезком pq .

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

$$Q_{жз} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\%$$

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

$$Q_{тз} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\%$$

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

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 5.3.

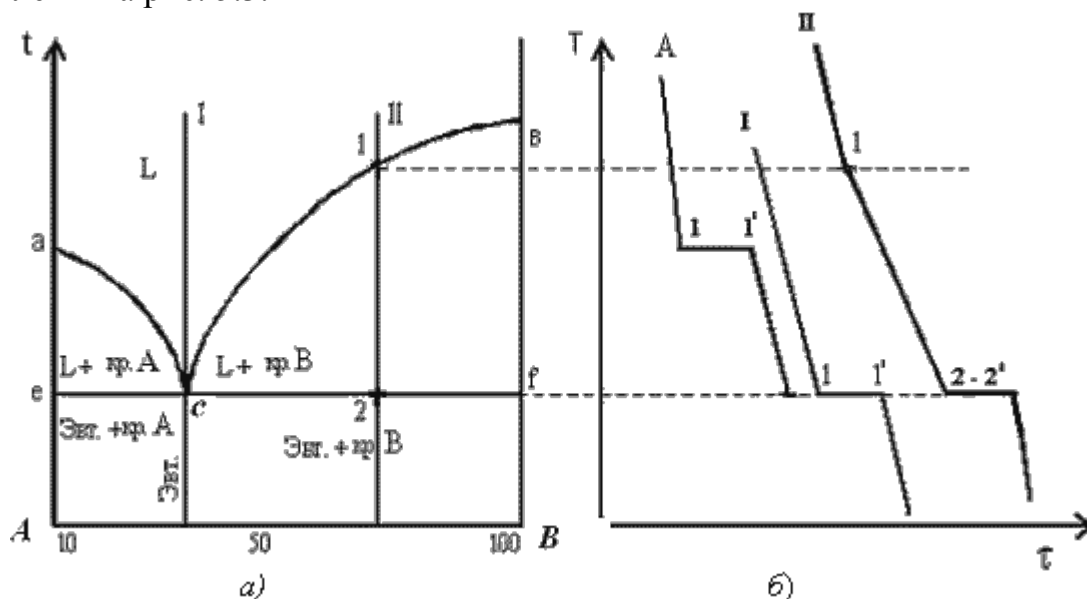


Рис. 5.3. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения сплавов (б)

Проведем анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, жидкая фаза).
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус $асб$, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус $есф$, параллельна оси концентраций стремится к осям компонентов, но не достигает их;
4. Типовые сплавы системы.
 - а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, на рис 5.3 б показана кривая охлаждения компонента А.
 - б). *Эвтектический сплав* – сплав, соответствующий концентрации компонентов в точке с (сплав I). Кривая охлаждения этого сплава, аналогична кривым охлаждения чистых металлов (рис. 5.3 б)

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

При образовании сплавов механических смесей эвтектика состоит из кристаллов компонентов А и В: Эвт. (кр. А + кр. В)

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

в) Другие сплавы системы аналогичны сплаву II, кривую охлаждения сплава см на рис 5.3.б.

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

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.4.

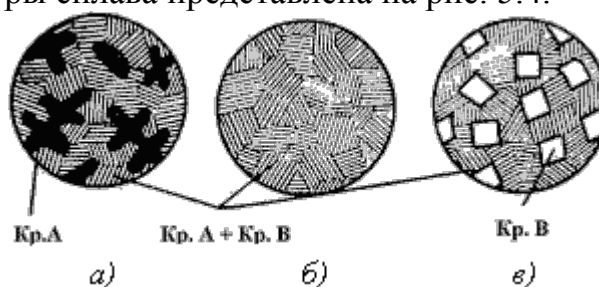


Рис. 5.4. Схема микроструктур сплавов: а – доэвтектического, б – эвтектического, в – заэвтектического

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

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис.5.5.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (жидкая фаза и кристаллы твердых растворов α (раствор компонента В в компоненте А) и β (раствор компонента А в компоненте В));
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус acb , состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус $adcfb$, состоит из трех участков;
 - dm – линия предельной концентрации компонента В в компоненте А;
 - fn – линия предельной концентрации компонента А в компоненте В.
4. Типовые сплавы системы.

При концентрации компонентов, не превышающей предельных значений (на участках Am и nB), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам твердым растворам с неограниченной растворимостью, см кривую охлаждения сплава I на рис. 5.5 б. При концентрации компонентов, превышающей предельные значения (на участке dcf), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам механическим смесям, см. кривую охлаждения сплава II на рис. 5.5 б.

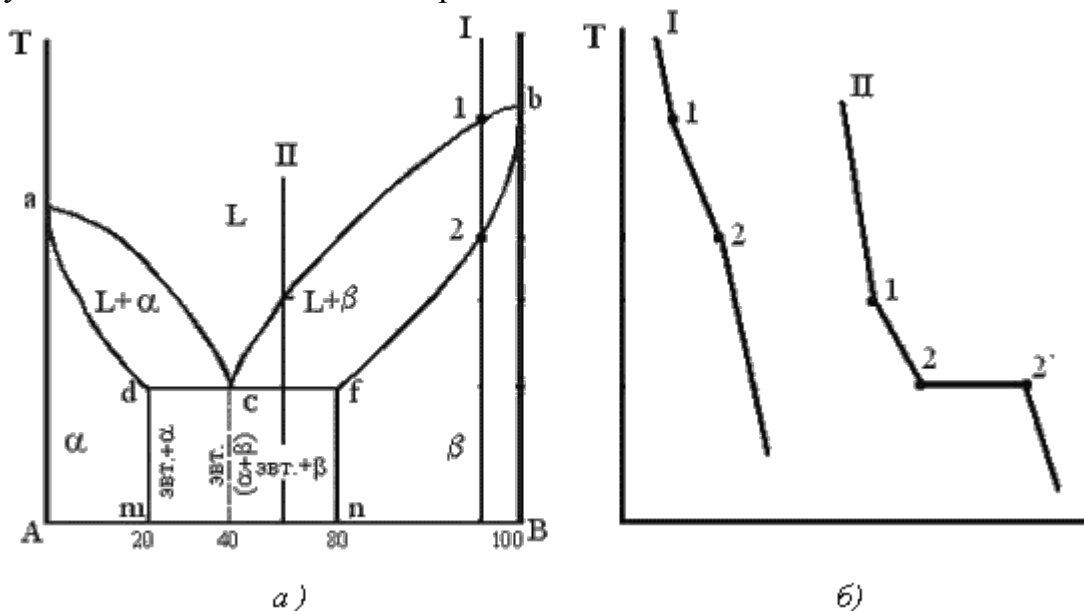


Рис. 5.5 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б)

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

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

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

Диаграмма состояния сплавов представлена на рис. 5.6.

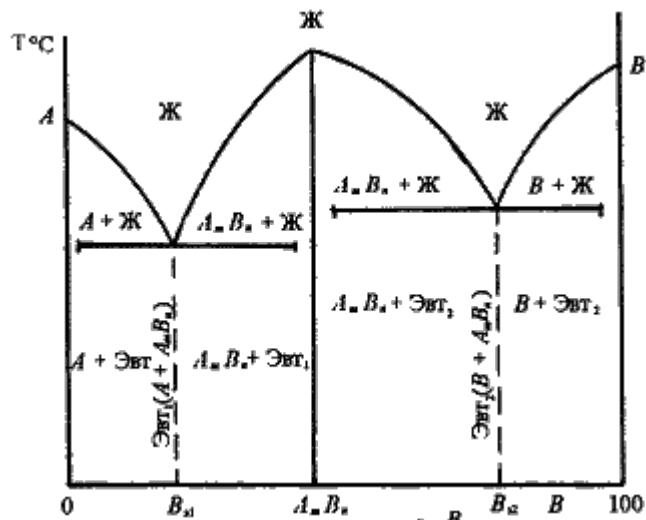


Рис. 5.6. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

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

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

- Эвт₁ (кр. А + кр. AmBn);
- Эвт₂ (кр. В + кр. AmBn).

Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость)

Диаграмма состояния представлена на рис. 5.7.

По внешнему виду диаграмма похожа на диаграмму состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Отличие в том, что линии предельной растворимости компонентов не перпендикулярны оси концентрации. Появляются области, в которых из однородных твердых растворов при понижении температуры выделяются вторичные фазы.

На диаграмме:

- df – линия переменной предельной растворимости компонента В в компоненте А;
- ек – линия переменной предельной растворимости компонента А в компоненте В.

Кривая охлаждения сплава I представлена на рис. 5.7 б.

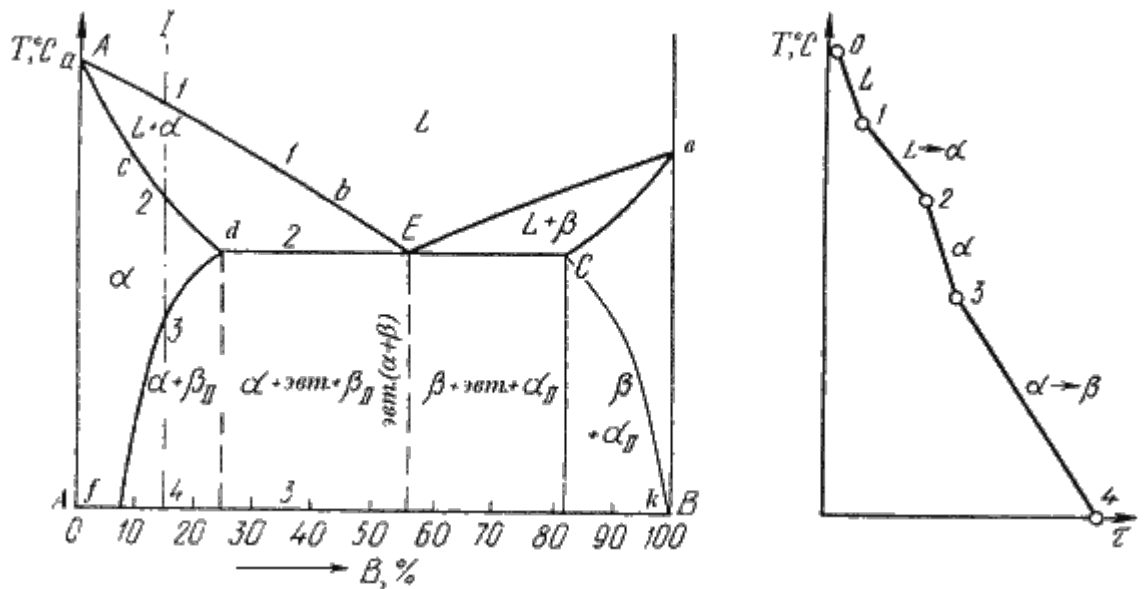


Рис. 5.7. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (а) и кривая охлаждения сплава (б)

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре. При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α . При достижении температуры, соответствующей точке 3, твердый раствор α оказывается насыщенным компонентом В, при более низких температурах растворимость второго компонента уменьшается, поэтому из α -раствора начинает выделяться избыточный компонент в виде кристаллов β_{II} . За точкой 3 сплав состоит из двух фаз: кристаллов твердого раствора α и вторичных кристаллов твердого раствора β_{II} .

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Так как вид диаграммы, также как и свойства сплава, зависит от того, какие соединения или какие фазы образовали компоненты сплава, то между ними должна существовать определенная связь. Эта зависимость установлена Курнаковым, (см. рис. 5.8.).

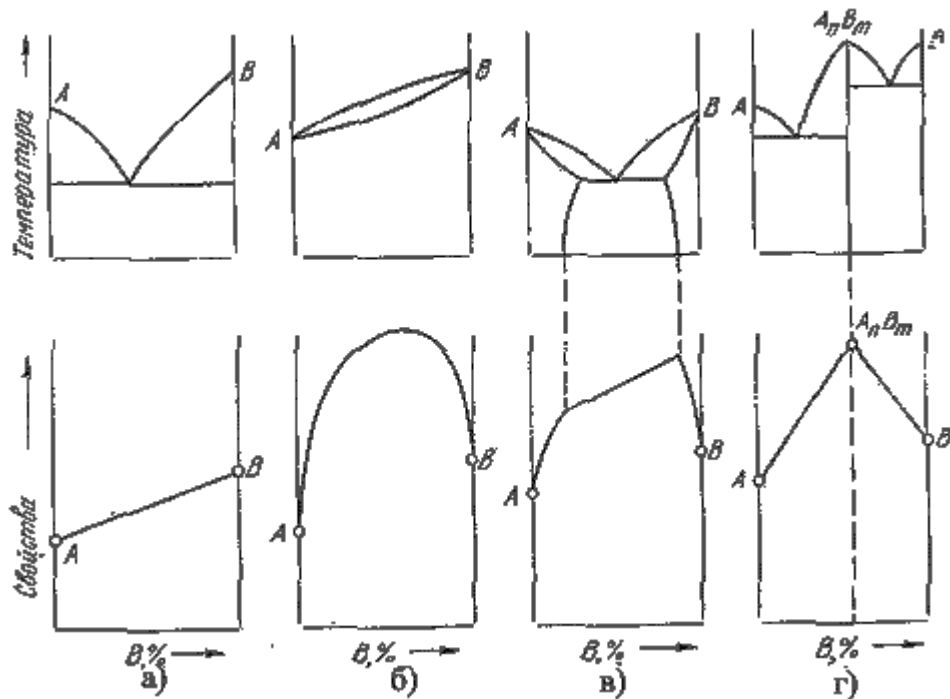


Рис. 5.8. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

1. При образовании механических смесей свойства изменяются по линейному закону. Значения характеристик свойств сплава находятся в интервале между характеристиками чистых компонентов.
2. При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, например, электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.
3. При образовании твердых растворов с ограниченной растворимостью свойства в интервале концентраций, отвечающих однофазным твердым растворам, изменяются по криволинейному закону, а в двухфазной области – по линейному закону. Причем крайние точки на прямой являются свойствами чистых фаз, предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.
4. При образовании химических соединений концентрация химического соединения отвечает максимуму на кривой. Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой.

Лекция 6

Нагрузки, напряжения и деформации. Механические свойства.

1. [Физическая природа деформации металлов.](#)
2. [Природа пластической деформации.](#)
3. [Дислокационный механизм пластической деформации.](#)
4. [Разрушение металлов.](#)

5. Механические свойства и способы определения их количественных характеристик

Физическая природа деформации металлов.

Деформацией называется изменение формы и размеров тела под действием напряжений.

Напряжение – сила, действующая на единицу площади сечения детали.

Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате фазовых (структурных) превращений, усадки и других физико-химических процессов, протекающих в металлах, и связанных с изменением объема.

Металл, находящийся в напряженном состоянии, при любом виде нагружения всегда испытывает напряжения нормальные и касательные (рис. 6.1.).

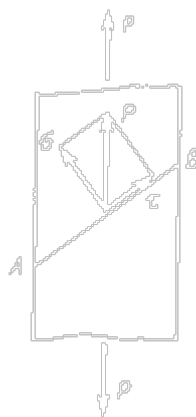


Рис.6.1. Схема возникновения нормальных и касательных напряжений в металле при его нагружении

Рост нормальных и касательных напряжений приводит к разным последствиям. Рост нормальных напряжений приводит к хрупкому разрушению. Пластическую деформацию вызывают касательные напряжения.

Деформация металла под действием напряжений может быть упругой и пластической.

Упругой называется деформация, полностью исчезающая после снятия вызывающих ее напряжений.

При упругом деформировании изменяются расстояния между атомами металла в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места, и деформация исчезает.

Упругая деформация на диаграмме деформации характеризуется линией OA (рис.6.2.).

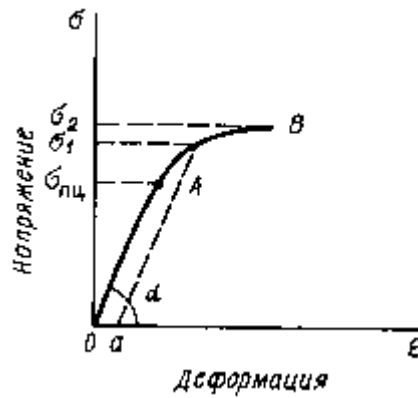


Рис.6.2. Диаграмма зависимости деформации металла ϵ от действующих напряжений σ

Если нормальные напряжения достигают значения сил межатомных связей, то наблюдается хрупкое разрушение путем отрыва (рис.6.3.)

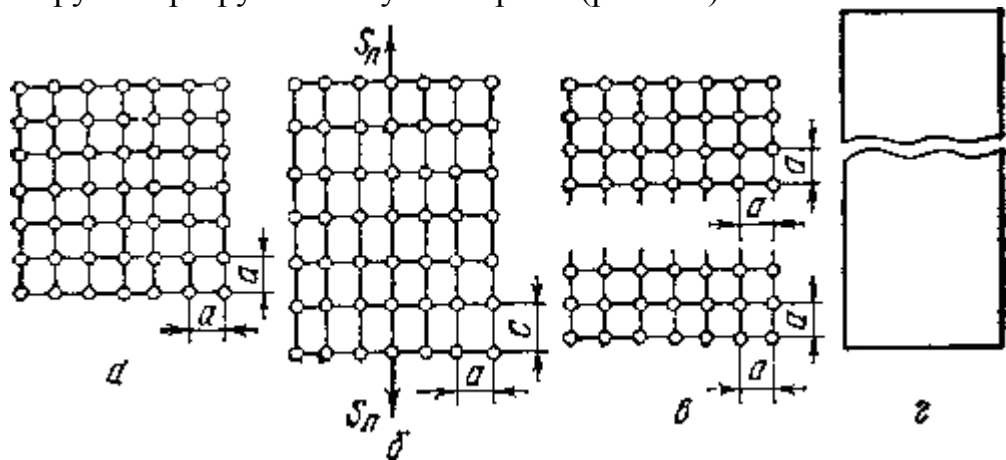


Рис.6.3. Схема упругой деформации и хрупкого разрушения под действием упругих напряжений a – ненапряженная решетка металла; b – упругая деформация; $в, г$ – хрупкое разрушение в результате отрыва

Зависимость между упругой деформацией ϵ и напряжением σ выражается законом Гука

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

где: E - модуль упругости.

Модуль упругости является важнейшей характеристикой упругих свойств металла. По физической природе величина модуля упругости рассматривается как мера прочности связей между атомами в твердом теле.

Эта механическая характеристика структурно нечувствительна, т. е. термическая обработка или другие способы изменения структуры не изменяют модуля упругости, а повышение температуры, изменяющее межатомные расстояния, снижает модуль упругости.

Пластической или *остаточной* называется деформация после прекращения действия вызвавших ее напряжений.

При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой под действием касательных напряжений. При снятии нагрузок сдвиг остается, т.е. происходит пластическая деформация (рис.6.4)

В результате развития пластической деформации может произойти вязкое разрушение путем сдвига.

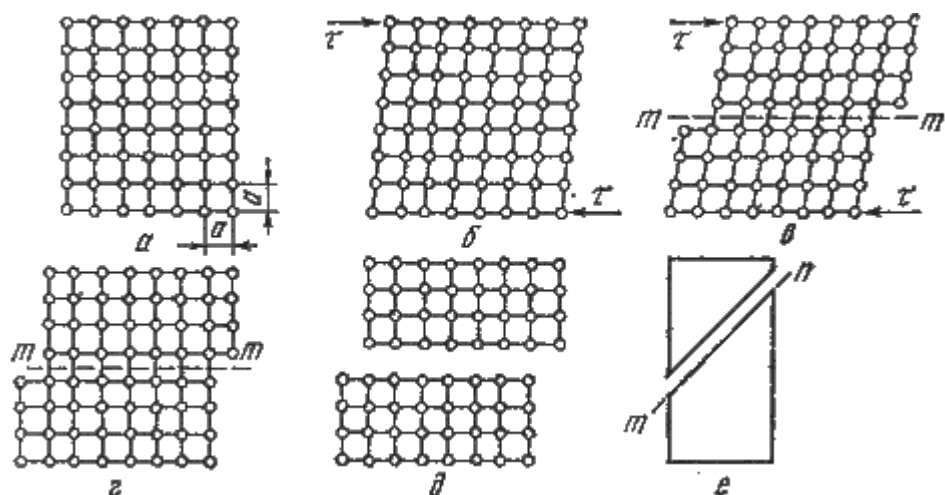


Рис.6.4. Схема пластической деформации и вязкого разрушения под действием касательных напряжений *a* – ненапряженная решетка; *б* – упругая деформация; *в* – упругая и пластическая деформация; *г* – пластическая деформация; *д, е* – пластичное (вязкое) разрушение в результате среза

Природа пластической деформации.

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, и характер их деформации зависит от типа кристаллической структуры и от наличия несовершенств в этой структуре.

Рассмотрим пластическую деформацию в монокристалле.

Пластическая деформация может протекать под действием касательных напряжений и может осуществляться двумя способами.

1. Трансляционное скольжение по плоскостям (рис. 6.5 а). Одни слои атомов кристалла скользят по другим слоям, причем они перемещаются на дискретную величину, равную целому числу межатомных расстояний.

В промежутках между полосами скольжения деформация не происходит. Твердое тело не изменяет своего кристаллического строения во время пластической деформации и расположение атомов в элементарных ячейках сохраняется

Плоскостями скольжения являются кристаллографические плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов.

Это наиболее характерный вид деформации при обработке давлением.

2. Двойникование – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (рис. 6.5 б).

Двойникование чаще возникает при пластической деформации кристаллов с объемно-центрированной и гексагональной решеткой, причем с повышением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию возрастает.

Двойникование может возникать не только в результате действия внешних сил, но и в результате отжига пластически деформированного тела. Это характерно для металлов с гранецентрированной кубической решеткой (медь, латунь). Двойникованием можно достичь незначительной степени деформации.



Рис.6.5. Схемы пластической деформации различными способами: а – скольжением; б – двойникованием

Дислокационный механизм пластической деформации.

Пластическая деформация происходит в результате скольжения или двойникования. Ранее предполагали, что при скольжении одна часть кристалла сдвигается относительно другой части на целое число периодов как единое целое. Необходимое для этого напряжение получается на несколько порядков выше действительного сдвигового напряжения.

Для железа теоретическое значение сдвигового напряжения $\tau_{теор} = 13300$ МПа, $\tau_{факт} = 20$

В основу современной теории пластической деформации взяты следующие положения:

- скольжение распространяется по плоскости сдвига последовательно, а не одновременно;
- скольжение начинается от мест нарушений кристаллической решетки, которые возникают в кристалле при его нагружении.

Схема механизма деформации представлена на рис.6.6 а.

В равновесном состоянии дислокация неподвижна. Под действием напряжения экстраплоскость смещается справа налево при незначительном перемещении атомов. Нижняя часть плоскости P'S (SR) сместится вправо и совместится с нижним краем экстра- плоскости PQ.

QR- остаточная деформация.

При дальнейшем движении дислокация пройдет всю плоскость скольжения и выйдет на поверхность зерна. При этом верхняя часть зерна сдвинута относительно нижней на один межатомный период решетки (рис. 6.6 б).

При каждом перемещении дислокации на один шаг необходимо разорвать связь только между двумя рядами атомов в плоскости P'S, а не между всеми атомами, расположенными выше и ниже плоскости скольжения. Необходимое сдвиговое напряжение при этом мало, равно практически действительному..

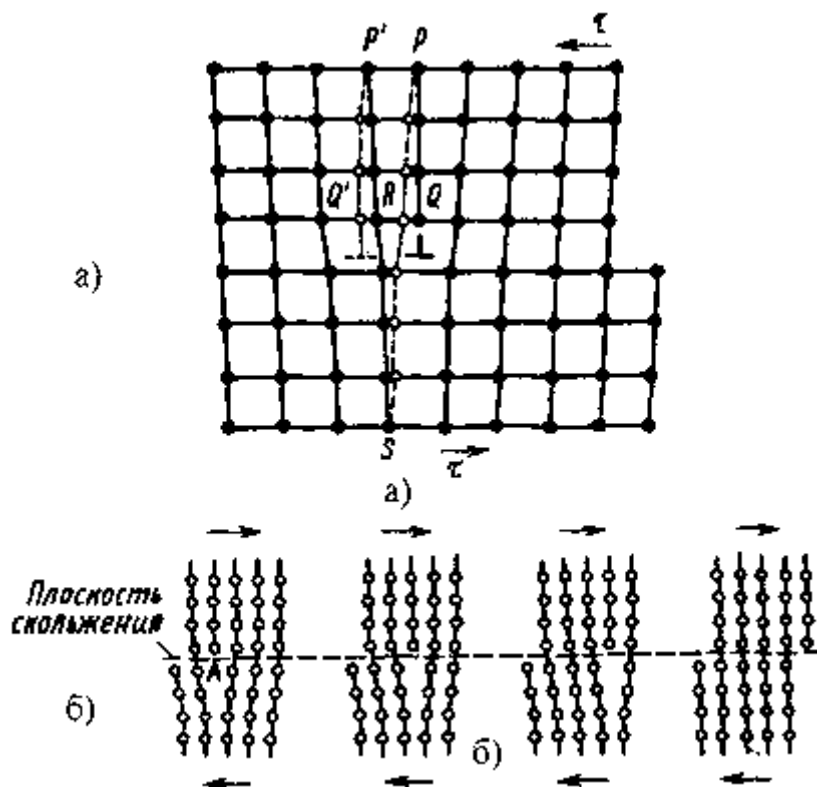


Рис. 6.6. Схема дислокационного механизма пластической деформации *а* – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние; *б* – перемещение дислокации через весь кристалл

Разрушение металлов.

Процесс деформации при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Тела разрушаются по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин. Разрушение включает три стадии: зарождение трещины, ее распространение через сечение, окончательное разрушение.

Различают хрупкое разрушение – отрыв одних слоев атомов от других под действием нормальных растягивающих напряжений. Отрыв не сопровождается предварительной деформацией. Механизм зарождения трещины одинаков – благодаря скоплению движущихся дислокаций перед препятствием (границы субзерен, фазовые границы), что приводит к концентрации напряжений, достаточной для образования трещины. Когда напряжения достигают определенного значения, размер трещины становится критическим и дальнейший рост осуществляется произвольно.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Величина зоны пластической деформации в устье трещины мала. Скорость распространения хрупкой трещины велика – близка к скорости звука (внезапное, катастрофическое разрушение). Энергоемкость хрупкого разрушения мала, а работа распространения трещины близка к нулю.

Различают транскристаллитное разрушение – трещина распространяется по телу зерна, интеркристаллитное – по границам зерен (всегда хрупкое).

Результатом хрупкого разрушения является блестящий светлый кристаллический излом с ручьистым строением. Хрупкая трещина

распространяется по нескольким параллельным плоскостям. Плоскость излома перпендикулярна нормальным напряжениям.

Вязкое разрушение – путем среза под действием касательных напряжений. Ему всегда предшествует значительная пластическая деформация.

Трещина тупая раскрывающаяся. Величина пластической зоны впереди трещины велика. Малая скорость распространения трещины. Энергоемкость значительная, энергия расходуется на образование поверхностей раздела и на пластическую деформацию. Большая работа затрачивается на распространение трещины. Поверхность излома негладкая, рассеивает световые лучи, матовая (волокнистый) излом. Плоскость излома располагается под углом.

По излому можно определить характер разрушения.

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик

Основными механическими свойствами являются прочность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность конструкций при их минимальной массе.

Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

1. статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
2. динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
3. повторно, переменном или циклическом нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

Для получения сопоставимых результатов образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ГОСТами.

При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности.

Прочность – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению.

Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца Δl (мм) от действующей нагрузки P , т.е. $\Delta l = f(P)$.

Но для получения данных по механическим свойствам перестраивают: зависимость относительного удлинения Δl от напряжения σ

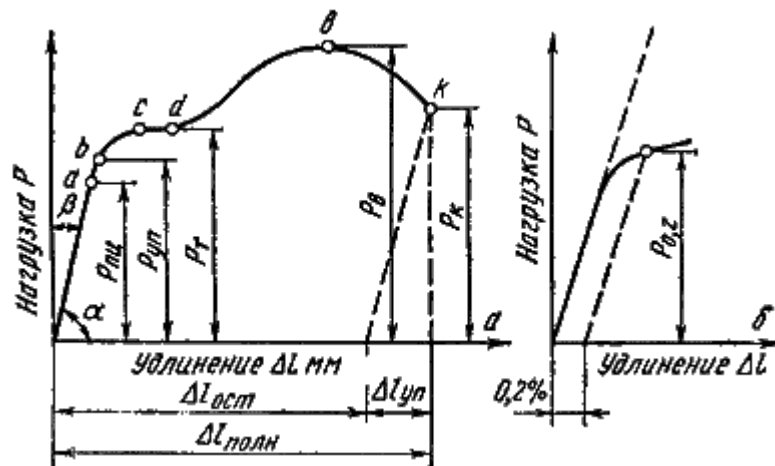


Рис. 6.7. Диаграмма растяжения: а – абсолютная, б – относительная; в – схема определения условного предела текучести

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца при увеличении нагрузки.

Участок *oa* на диаграмме соответствует упругой деформации материала, когда соблюдается закон Гука. Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке *a*, называется *пределом пропорциональности*.

Предел пропорциональности ($\sigma_{\text{уп}}$) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением.

$$\sigma_{\text{уп}} = \frac{P_{\text{уп}}}{F_0}$$

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения).

Каждому напряжению соответствует остаточное удлинение, которое получаем проведением из соответствующей точки диаграммы растяжения линии параллельной *oa*.

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают *условный предел упругости*, – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005...0,05%).

В обозначении указывается значение остаточной деформации ($\sigma_{0,05}$).

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}$$

Предел текучести характеризует сопротивление материала небольшим пластическим деформациям.

В зависимости от природы материала используют физический или условный предел текучести.

Физический предел текучести ($\sigma_{\text{т}}$) – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие горизонтальной площадки на диаграмме растяжения). Используется для очень пластичных материалов.

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{P_{\text{т}}}{F_0}$$

Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести.

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – это напряжение вызывающее остаточную деформацию $\delta = 0,2\%$

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

Физический или условный предел текучести являются важными расчетными характеристиками материала. Действующие в детали напряжения должны быть ниже предела текучести.

Равномерная по всему объему пластичная деформация продолжается до значения предела прочности.

В точке *в* в наиболее слабом месте начинает образовываться шейка – сильное местное утомление образца.

Предел прочности (σ_s) – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

Образование шейки характерно для пластичных материалов, которые имеют диаграмму растяжения с максимумом.

Предел прочности характеризует прочность как сопротивления значительной равномерной пластичной деформации. За точкой В, вследствие развития шейки, нагрузка падает и в точке С происходит разрушение.

Истинное сопротивление разрушению – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца (рис. 6.8).

$$S_x = \frac{P_x}{F_x}$$

Истинное сопротивление разрушению значительно больше предела прочности, так как оно определяется относительно конечной площади поперечного сечения образца.

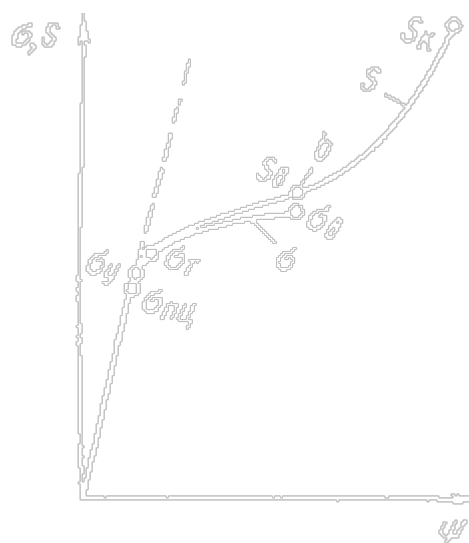


Рис. 6.8. Истинная диаграмма растяжения

F_x - конечная площадь поперечного сечения образца.

Истинные напряжения σ_i определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения в данный момент времени.

$$\sigma_i = \frac{P_i}{F_i}$$

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности.

Пластичность — способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности.

Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики:

относительное удлинения. (δ)

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100\%$$

l_0 и l_k — начальная и конечная длина образца.

$\Delta l_{ост}$ — абсолютное удлинение образца, определяется измерением образца после разрыва.

относительное сужение

$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%$$

F_0 — начальная площадь поперечного сечения

F_k — площадь поперечного сечения в шейке после разрыва.

Относительное сужение более точно характеризует пластичность и служит технологической характеристикой при листовой штамповке.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.



Лекция 7

Механические свойства (продолжение). Технологические и эксплуатационные свойства

1. Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность
2. Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)
3. Метод Роквелла ГОСТ 9013
4. Метод Виккерса
5. Метод царапания.
6. Динамический метод (по Шору)
7. Влияние температуры.
8. Способы оценки вязкости.
9. Оценка вязкости по виду излома.
10. Основные характеристики:
11. Технологические свойства

12. Эксплуатационные свойства

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы.

Это неразрушающий метод контроля. Основным методом оценки качества термической обработки изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рис. 7.1.

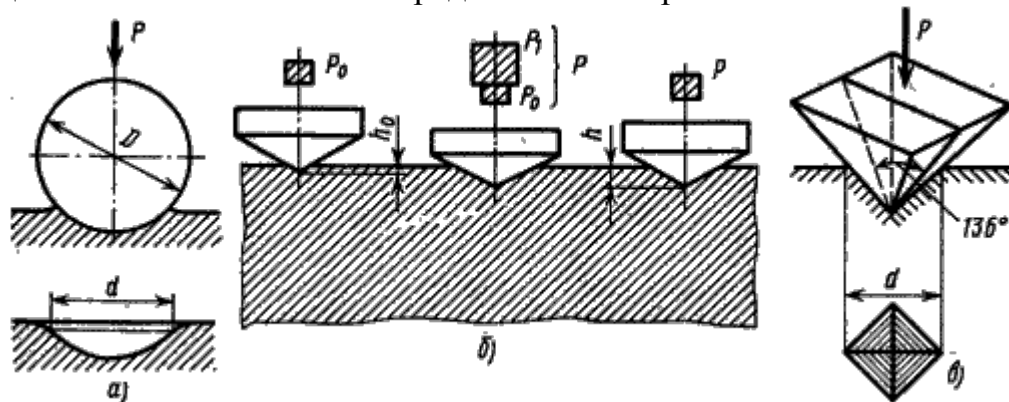


Рис. 7.1. Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.7.1 а)

В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка P, в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна – $P = 30D^2$, литой бронзы и латуни – $P = 10D^2$, алюминия и других очень мягких металлов – $P = 2,5D^2$.

Продолжительность выдержки τ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля.

Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F:

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

Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс; $t = 10$ с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается НВ 250, в других случаях указываются условия: НВ $D / P / t$, НВ 5/ 250 /30 – 80.

Метод Роквелла ГОСТ 9013

Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 7.1 б)

Индентор для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром $1/16''$ ($\varnothing 1,6$ мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P_0 (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P_0 .

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 7.1)

Таблица 7.1. Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик $\varnothing 1/16''$	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

Метод Виккерса

Твердость определяется по величине отпечатка (рис.7.1 в).

В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка P составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании P составляют 5...500 гс

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Метод царапания.

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

Динамический метод (по Шору)

Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.

В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации.

Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами.

Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

Влияние температуры.

С повышением температуры вязкость увеличивается (см. рис. 7. 2).

Предел текучести S_m существенно изменяется с изменением температуры, а сопротивление отрыву S_{om} не зависит от температуры. При температуре выше T_e предел текучести меньше сопротивления отрыву. При нагружении сначала имеет место пластическое деформирование, а потом – разрушение. Металл находится в вязком состоянии.

При температуре ниже T_n сопротивление отрыву меньше предела текучести. В этом случае металл разрушается без предварительной деформации, то есть находится в хрупком состоянии. Переход из вязкого состояния в хрупкое осуществляется в интервале температур $T_n - T_e$.

Хладоломкостью называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

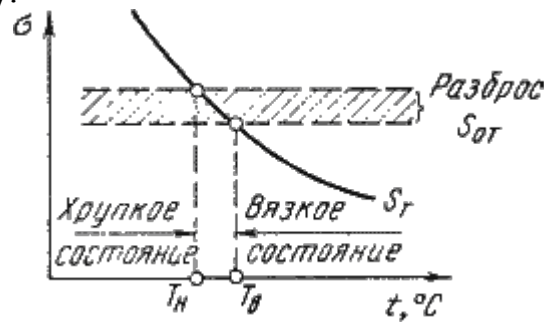


Рис. 7.2. Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние

Способы оценки вязкости.

Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению

Испытание проводят на образцах с надрезами определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту (рис. 7.3)

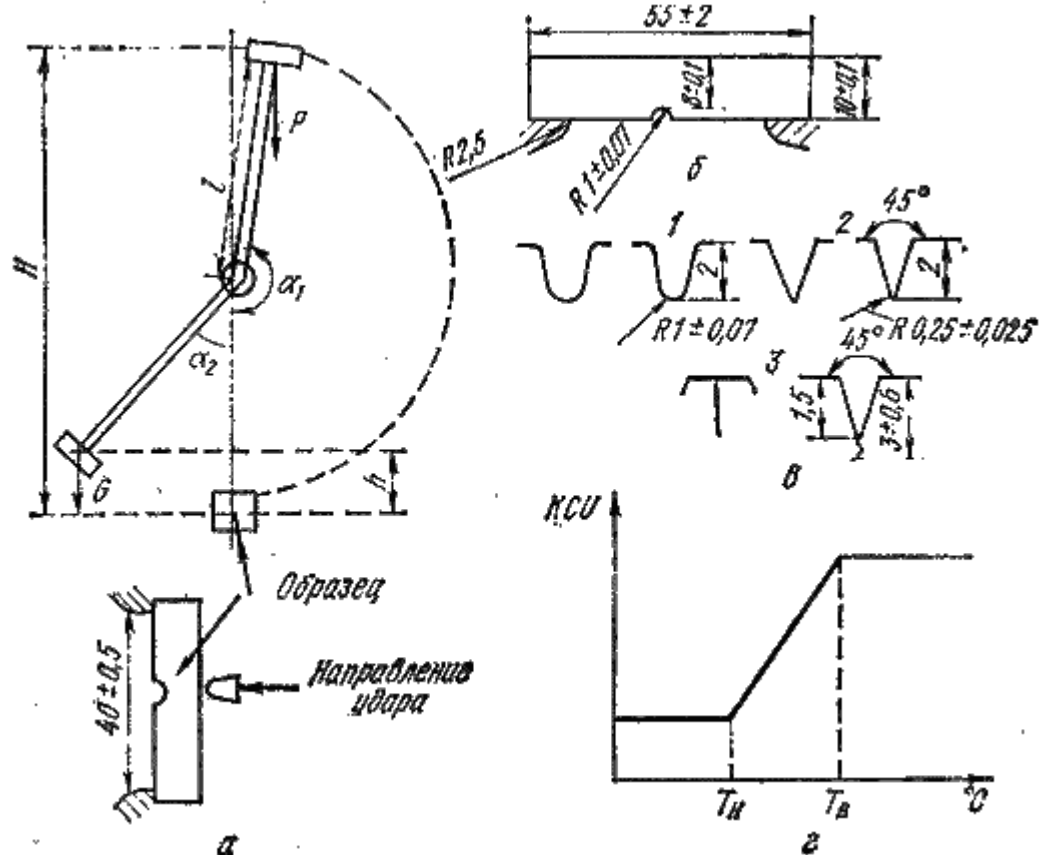


Рис.7.3. Схема испытания на ударную вязкость: а – схема маятникового копра; б – стандартный образец с надрезом; в – виды концентраторов напряжений; г – зависимость вязкости от температуры

На разрушение образца затрачивается работа:

$$A = P(H - h)$$

где: P – вес маятника, H – высота подъема маятника до удара, h – высота подъема маятника после удара.

Характеристикой вязкости является *ударная вязкость* (a_n), - удельная работа разрушения.

$$a_n = \frac{A}{F_0}$$

где: F_0 - площадь поперечного сечения в месте надреза.

ГОСТ 9454 – 78 ударную вязкость обозначает КСV. КСУ. КСТ. КС – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (Т) (рис. 7.3 в)

Серийные испытания для оценки склонности металла к хладоломкости и определения критических порогов хладоломкости.

Испытывают серию образцов при различных температурах и строят кривые ударная вязкость – температура ($a_n - T$) (рис. 7.3 г), определяя пороги хладоломкости.

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.

Оценка вязкости по виду излома.

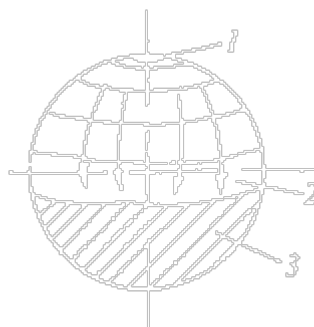
При вязком состоянии металла в изломе более 90 % волокон, за верхний порог хладоломкости T_v принимается температура, обеспечивающая такое состояние. При хрупком состоянии металла в изломе 10 % волокон, за нижний порог хладоломкости T_n принимается температура, обеспечивающая такое состояние. В технике за порог хладоломкости принимают температуру, при которой в изломе 50 % вязкой составляющей. Причем эта температура должна быть ниже температуры эксплуатации изделий не менее чем на 40°C.

Испытания на выносливость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности.

Усталость - разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

Усталостная прочность – способность материала сопротивляться усталости.

Процесс усталости состоит из трех этапов, соответствующие этим этапам зоны в изломе показаны на рис.7.4.



- 1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась микродеформациям и получила максимальное упрочнение
- 2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность
- 3 – окончательное разрушение, зона “долома“, живое сечение уменьшается, а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое

Рис 7.4. Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца

Характеристики усталостной прочности определяются при циклических испытаниях “изгиб при вращении“. Схема представлена на рис. 7.5.

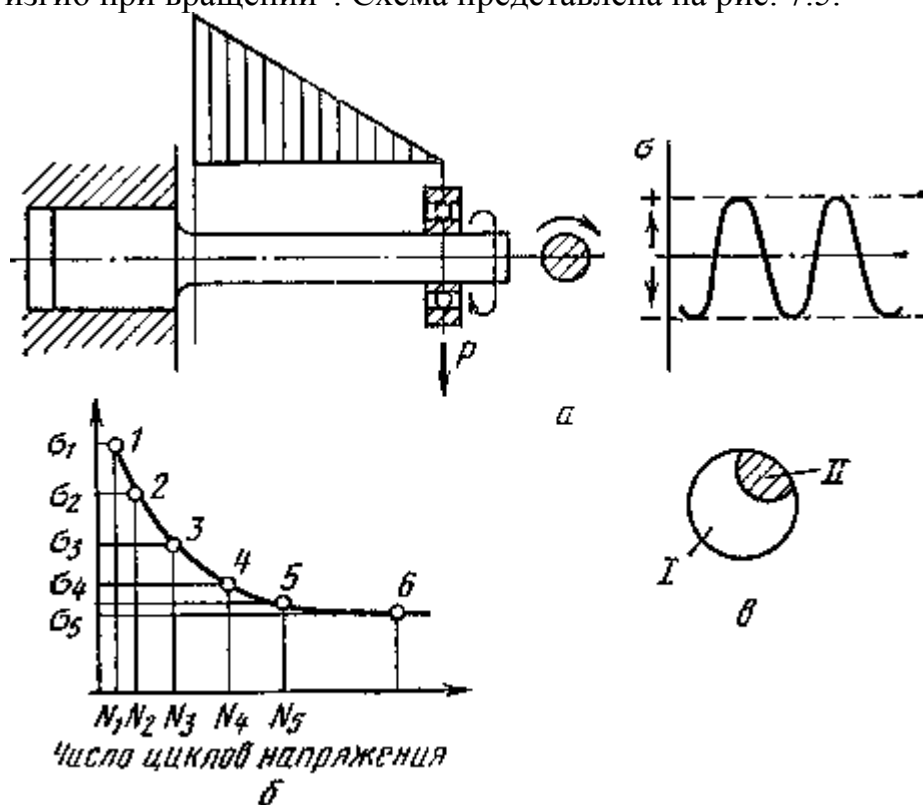


Рис. 7.5. Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)

Основные характеристики:

Предел выносливости (σ_{-1} – при симметричном изменении нагрузки, σ_R – при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения N .

Ограниченный предел выносливости – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

Живучесть – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

Технологические свойства

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

- 1. Литейные свойства.

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

2. Способность материала к обработке давлением.

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб.

Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

3. Свариваемость.

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

4. Способность к обработке резанием.

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. *Износостойкость* – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
2. *Коррозионная стойкость* – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.
3. *Жаростойкость* – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.
4. *Жаропрочность* – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.
5. *Хладостойкость* – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.
6. *Антифрикционность* – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Лекция 8

Конструкционная прочность материалов. Особенности деформации поликристаллических тел. Наклеп, возврат и рекристаллизация

1. [Конструкционная прочность материалов](#)
2. [Особенности деформации поликристаллических тел.](#)
3. [Влияние пластической деформации на структуру и свойства металла: наклеп](#)
4. [Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация](#)

Конструкционная прочность материалов

В результате испытаний получают характеристики:

- силовые (предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, предел выносливости);
- деформационные (относительное удлинение, относительное сужение);
- энергетические (ударная вязкость).

Все они характеризуют общую прочность материала независимо от назначения, конструкции и условий эксплуатации. Высокое качество детали может быть достигнуто только при учете всех особенностей, которые имеют место в процессе работы детали, и которые определяют ее *конструкционную прочность*.

Конструкционная прочность – комплекс прочностных свойств, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данного изделия, обеспечивают длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации.

На конструкционную прочность влияют следующие факторы:

- конструкционные особенности детали (форма и размеры);
- механизмы различных видов разрушения детали;
- состояние материала в поверхностном слое детали;
- процессы, происходящие в поверхностном слое детали, приводящие к отказам при работе.

Необходимым условием создания качественных конструкций при экономном использовании материала является учет дополнительных критериев, влияющих на конструкционную прочность. Этими критериями являются *надежность* и *долговечность*.

Надежность – свойство изделий, выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени или сопротивление материала хрупкому разрушению.

Развитие хрупкого разрушения происходит при низких температурах, при наличии трещин, при повышенных остаточных напряжениях, а также при развитии усталостных процессов и коррозии.

Критериями, определяющими надежность, являются температурные пороги хладоломкости, сопротивление распространению трещин, ударная вязкость, характеристики пластичности, живучесть.

Долговечность – способность детали сохранять работоспособность до определенного состояния.

Долговечность определяется усталостью металла, процессами износа, коррозии и другими, которые вызывают постепенное разрушение и не влекут аварийных последствий, то есть условиями работы.

Критериями, определяющими долговечность, являются усталостная прочность, износостойкость, сопротивление коррозии, контактная прочность.

Общими принципами выбора критериев для оценки конструкционной прочности являются:

- аналогия вида напряженного состояния в испытываемых образцах и изделиях;
- аналогия условий испытания образцов и условий эксплуатации (температура, среда, порядок нагружения);
- аналогия характера разрушения и вида излома в образце и изделии.

Особенности деформации поликристаллических тел.

Рассмотрим холодную пластическую деформацию поликристалла. Пластическая деформация металлов и сплавов как тел поликристаллических, имеет некоторые особенности по сравнению с пластической деформацией монокристалла.

Деформация поликристаллического тела складывается из деформации отдельных зерен и деформации в приграничных объемах. Отдельные зерна деформируются скольжением и двойникованием, однако взаимная связь зерен и их множественность в поликристалле вносят свои особенности в механизм деформации.

Плоскости скольжения зерен произвольно ориентированны в пространстве, поэтому под влиянием внешних сил напряжения в плоскостях скольжения отдельных зерен будут различны. Деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения. Соседние зерна будут разворачиваться и постепенно вовлекаться в процесс деформации. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна получают форму, вытянутую в направлении наиболее интенсивного течения металла (поворачиваются осями наибольшей прочности вдоль направления деформации). Изменение структуры при деформации показано на рис. 8.1.

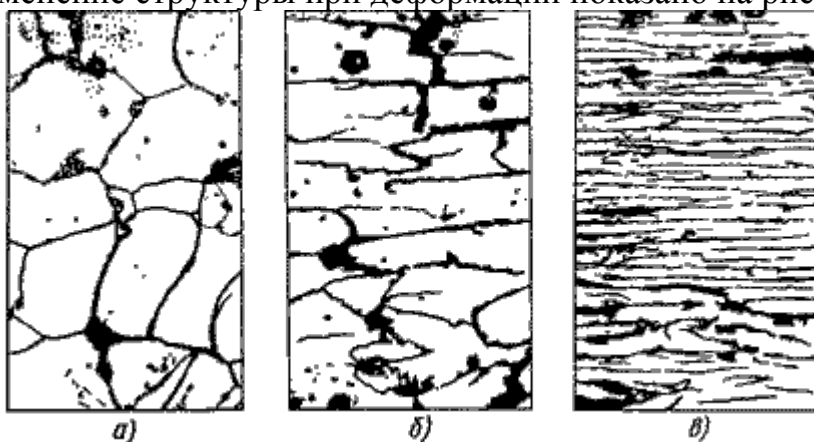


Рис. 8.1. Изменение структуры при деформации: а) до деформации; б) после обжатия на 35%; в) после обжатия на 90%.

Металл приобретает волокнистое строение. Волокна с вытянутыми вдоль них неметаллическими включениями являются причиной неодинаковости свойств вдоль и поперек волокон. Одновременно с изменением формы зерен в процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки.

Когда кристаллические решетки большинства зерен получают одинаковую ориентировку, возникает *текстура деформации*.

Влияние пластической деформации на структуру и свойства металла: наклеп

Текстура деформации создает кристаллическую анизотропию, при которой наибольшая разница свойств проявляется для направлений, расположенных под углом 45° друг к другу. С увеличением степени деформации характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) и вязкости (ударная вязкость) уменьшаются, а прочностные характеристики (предел упругости, предел текучести, предел прочности) и твердость увеличиваются (рис. 8.2). Также повышается электросопротивление, снижаются сопротивление коррозии, теплопроводность, магнитная проницаемость.

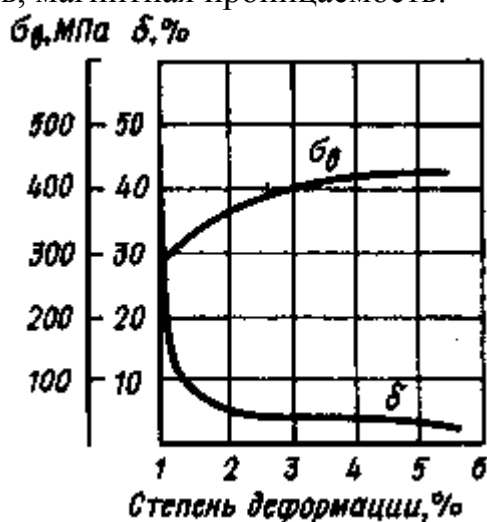


Рис.8.2. Влияние холодной пластической деформации на механические свойства металла

Совокупность явлений, связанных с изменением механических, физических и других свойств металлов в процессе пластической деформации называют *деформационным упрочнением* или *наклепом*.

Упрочнение при наклепе объясняется возрастанием на несколько порядков плотности дислокаций:

$$\rho = 10^6 \dots 10^8 \rightarrow 10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$$

Их свободное перемещение затрудняется взаимным влиянием, также торможением дислокаций в связи с измельчением блоков и зерен, искажениями решетки металлов, возникновением напряжений.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация

Деформированный металл находится в неравновесном состоянии. Переход к равновесному состоянию связан с уменьшением искажений в кристаллической решетке, снятием напряжений, что определяется возможностью перемещения атомов.

При низких температурах подвижность атомов мала, поэтому состояние наклепа может сохраняться неограниченно долго.

При повышении температуры металла в процессе нагрева после пластической деформации диффузия атомов увеличивается и начинают действовать процессы разупрочнения, приводящие металл в более равновесное состояние – *возврат* и *рекристаллизация*.

Возврат. Небольшой нагрев вызывает ускорение движения атомов, снижение плотности дислокаций, устранение внутренних напряжений и восстановление кристаллической решетки

Процесс частичного разупрочнения и восстановления свойств называется *отдыхом* (первая стадия возврата). Имеет место при температуре

$$T = (0,25...0,3)T_{\text{вп}}$$

Возврат уменьшает искажение кристаллической решетки, но не влияет на размеры и форму зерен и не препятствует образованию текстуры деформации.

Полигонизация – процесс деления зерен на части: фрагменты, полигоны в результате скольжения и переползания дислокаций.

При температурах возврата возможна группировка дислокаций одинаковых знаков в стенки, деление зерна малоугловыми границами (рис. 8.3).

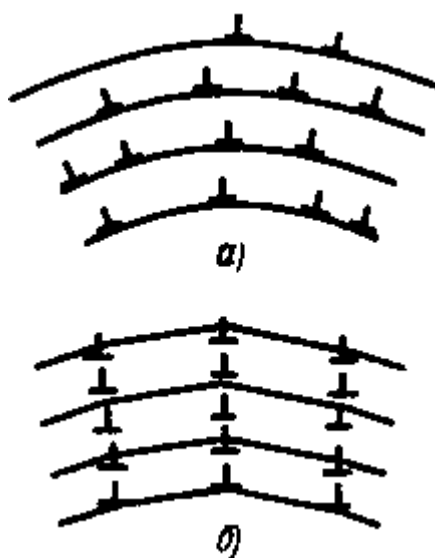


Рис. 8.3. Схема полигонизации: а – хаотическое расположение краевых дислокаций в деформированном металле; б – дислокационные стенки после полигонизации.

В полигонизированном состоянии кристалл обладает меньшей энергией, поэтому образование полигонов — процесс энергетически выгодный.

Процесс протекает при небольших степенях пластической деформации. В результате понижается прочность на (10...15) % и повышается пластичность (рис.8.4). Границы полигонов мигрируют в сторону большей объемной плотности дислокаций, присоединяя новые дислокации, благодаря чему углы разориентировки зерен увеличиваются (зерна аналогичны зернам, образующимся при рекристаллизации). Изменений в микроструктуре не наблюдается (рис.8.5 а).

Температура начала полигонизации не является постоянной. Скорость процесса зависит от природы металла, содержания примесей, степени предшествующей деформации.

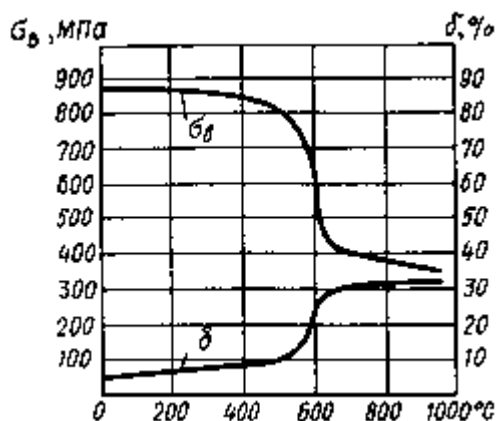


Рис. 8.4. Влияние нагрева деформированного металла на механические свойства

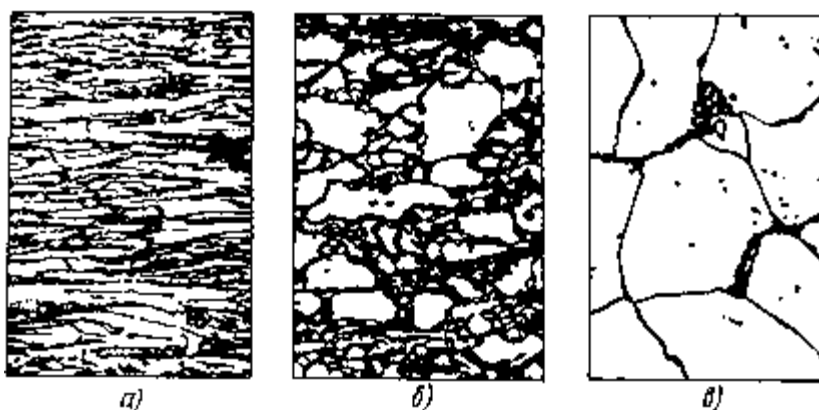


Рис. 8.5. Изменение структуры деформированного металла при нагреве

При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов возрастает и происходит *рекристаллизация*.

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых недеформированных зёрен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры.

Нагрев металла до температур рекристаллизации сопровождается резким изменением микроструктуры и свойств. Нагрев приводит к резкому снижению прочности при одновременном возрастании пластичности. Также снижается электросопротивление и повышается теплопроводность.

1 стадия – первичная рекристаллизация (обработки) заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зёрен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зёрна возникают у границ старых зёрен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зёрен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зёрен.

Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Система стремится перейти в устойчивое состояние с неискаженной кристаллической решеткой.

2 стадия – собирательная рекристаллизация заключается в росте образовавшихся новых зёрен.

Движущей силой является поверхностная энергия зерен. При мелких зернах поверхность раздела большая, поэтому имеется большой запас поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, и система переходит в более равновесное состояние.

Температура начала рекристаллизации связана с температурой плавления

$$T_{\text{рек}} = \alpha T_{\text{пл}},$$

для металлов $\alpha = 0,4$

для твердых растворов $\alpha = 0,5...0,8$

для металлов высокой чистоты $\alpha = 0,1...0,2$

На свойства металла большое влияние оказывает размер зерен, получившихся при рекристаллизации. В результате образования крупных зерен при нагреве до температуры t_1 начинает понижаться прочность и, особенно значительно, пластичность металла.

Основными факторами, определяющими величину зерен металла при рекристаллизации, являются температура, продолжительность выдержки при нагреве и степень предварительной деформации (рис. 8.6).

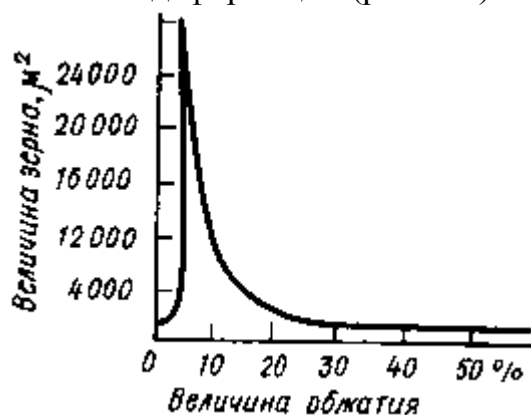


Рис. 8.6. Влияние предварительной степени деформации металла на величину зерна после рекристаллизации

С повышением температуры происходит укрупнение зерен, с увеличением времени выдержки зерна также укрупняются. Наиболее крупные зерна образуются после незначительной предварительной деформации 3...10 %. Такую деформацию называют *критической*. И такая деформация нежелательна перед проведением рекристаллизационного отжига.

Практически рекристаллизационный отжиг проводят для малоуглеродистых сталей при температуре 600...700°C, для латуней и бронз — 560...700°C, для алюминиевых сплавов — 350...450°C, для титановых сплавов — 550...750°C.

Лекция 9

Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.

1. [Структуры железоуглеродистых сплавов](#)
2. [Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов](#)

3. [Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов](#)
4. [Структуры железоуглеродистых сплавов](#)

Структуры железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe_3C . Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего 6,67% углерода.

Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рис. 9.1.

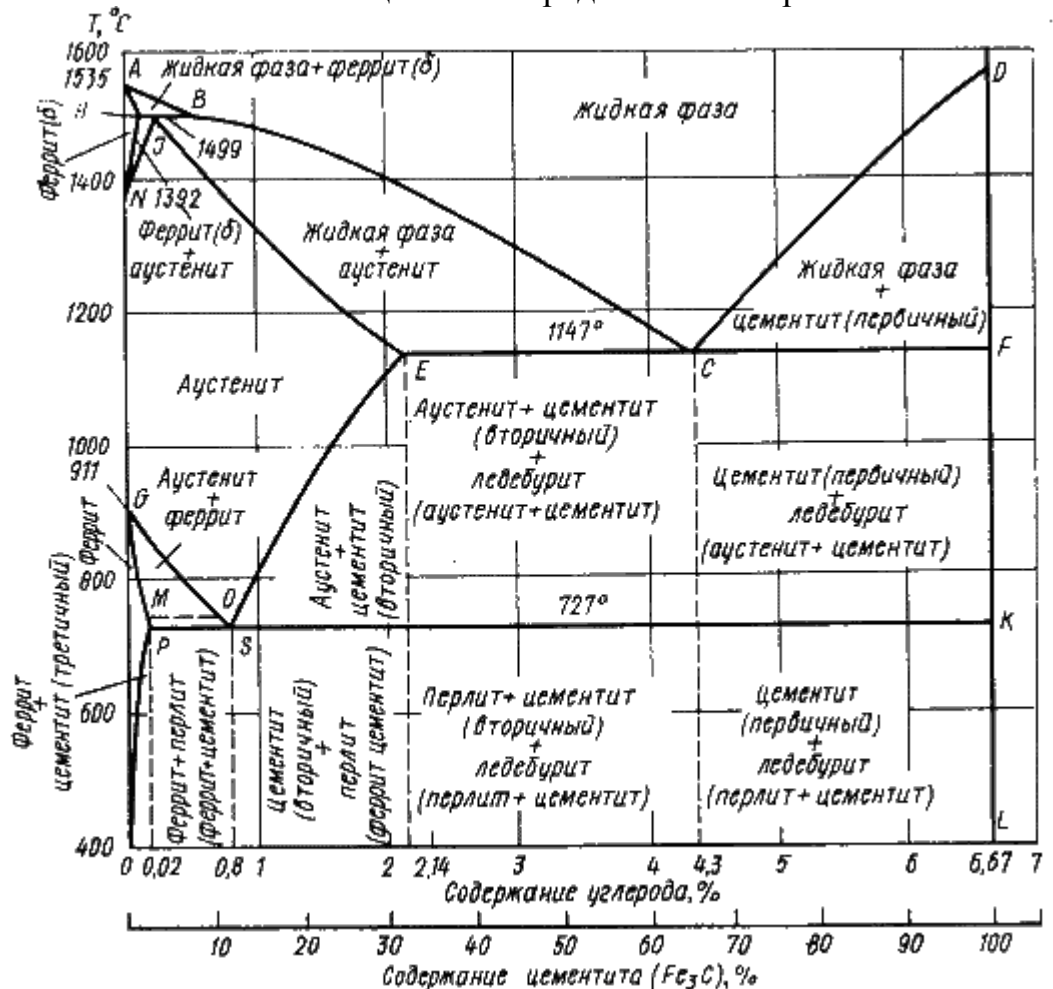


Рис. 9.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. *Железо* – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911°C и 1392°C . При температуре ниже 911°C существует Fe_{α} с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур $911...1392^{\circ}\text{C}$ устойчивым является Fe_{γ} , с гранецентрированной кубической решеткой. Выше 1392°C железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется Fe_{δ} или высокотемпературное Fe_{α} . Высокотемпературная модификация Fe_{δ} не представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру 911°C превращения $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ обозначают точкой A_3 , а температуру 1392°C превращения $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\delta}$, - точкой A_4 .

При температуре ниже 768°C железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа 768°C обозначается A_2 .

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – $\sigma_B = 250\text{МПа}$, предел текучести – $\sigma_T = 120\text{МПа}$) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение – $\delta = 50\%$, а относительное сужение – $\psi = 80\%$). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

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

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

2. *Углерод* относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления – 3500°C , плотность – $2,5\text{ г/см}^3$) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления – 5000°C).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (Fe_3C), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. *Цементит* (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена ($1250, 1550^{\circ}\text{C}$). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217°C .

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

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется *легированным цементитом*.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

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

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. *Феррит* (Φ) $Fe_{\alpha}(C)$ – твердый раствор внедрения углерода в α -железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – $0,006\%$ при комнатной температуре (точка Q), максимальную – $0,02\%$ при температуре 727°C (точка P). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392°C существует высокотемпературный феррит (δ) ($Fe_{\delta}(C)$), с предельной растворимостью углерода $0,1\%$ при температуре 1499°C (точка J)

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 HB , предел прочности – $\sigma_B = 300\text{ МПа}$) и пластичен (относительное удлинение – $\delta = 30\%$), магнитен до 768°C .

3. *Аустенит* (A) $Fe_{\gamma}(C)$ – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо.

Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – $0,8\%$ при температуре 727°C (точка S), максимальную – $2,14\%$ при температуре 1147°C (точка E).

Аустенит имеет твердость $200...250\text{ HB}$, пластичен (относительное удлинение – $\delta = 40...50\%$), парамагнитен.

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

4. *Цементит* – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный ($Ц_I$), цементит вторичный ($Ц_{II}$), цементит третичный ($Ц_{III}$). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Линия $ABCD$ – ликвидус системы. На участке AB начинается кристаллизация феррита (δ), на участке BC начинается кристаллизация аустенита, на участке CD – кристаллизация цементита первичного.

Линия $АНЕСС$ – линия солидус. На участке $АН$ заканчивается кристаллизация феррита (δ). На линии $НJB$ при постоянной температуре $14990C$ идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита (δ), в результате чего образуется аустенит:



На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке $ЕСС$ при постоянной температуре $1147^\circ C$ идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая $4,3\%$ углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:



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

При температуре ниже $727^\circ C$ в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный ($ЛП$).

По линии HN начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается.

По линии GS превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии PG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии MO при постоянной температуре $768^\circ C$ имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре $727^\circ C$ идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий $0,8\%$ углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:



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

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом ($П$), содержит $0,8\%$ углерода.

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

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

Обозначаются буквой А (от французского *arret* – остановка):

A1 – линия PSK (7270С) – превращение П \leftrightarrow А;

A2 – линия MO (7680С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф \leftrightarrow А;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение А \leftrightarrow Ф(δ);

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

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е. A_{n1} , при охлаждении – букву r, т.е. A_{n1} .

Структуры железоуглеродистых сплавов

Все сплавы системы железо – цементит по структурному признаку делят на две большие группы: стали и чугуны.

Особую группу составляют сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка Р), их называют техническое железо. Микроструктуры сплавов представлены на рис.9.2. Структура таких сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита (рис.9.2 а), при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного, расположенных по границам зерен феррита (рис.9.2.б), если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

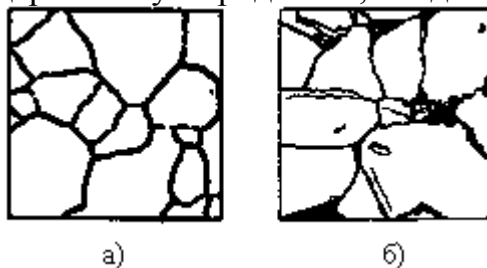


Рис.9.2. Микроструктуры технического железа: а – содержание углерода менее 0,006%; б – содержание углерода 0,006...0,02 %

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита.

Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей представлены на рис. 9.3.

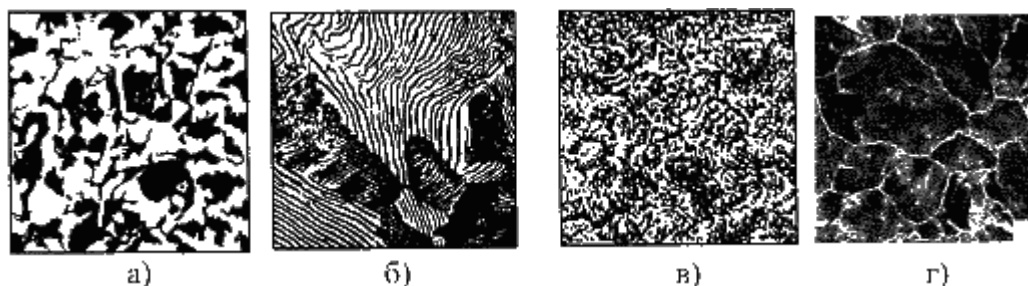


Рис. 9.3. Микроструктуры сталей: а – доэвтектоидная сталь ($\Phi + \Pi$); б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь ($\Pi + \text{Ц}_{\text{в}}$).

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные ($0,02\% < C < 0,8\%$), структура феррит + перлит ($\Phi + \Pi$) (рис.9.3 а); эвтектоидные ($C = 0,8\%$), структура перлит (Π), перлит может быть пластинчатый или зернистый (рис. 9.3 б и 9.3 в); заэвтектоидные ($0,8\% < C < 2,14\%$), структура перлит + цементит вторичный ($\Pi + \text{Ц}_{\text{в}}$), цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите – 6,67 %. Ввиду малой растворимости углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами.

Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома – серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами.

Микроструктуры белых чугунов представлены на рис. 9.4.



Рис. 9.4. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун ($\Pi + \text{Л} + \text{Ц}_{\text{в}}$); б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун ($\text{Л} + \text{Ц}_{\text{п}}$).

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перлит + ледеburит + цементит вторичный ($\Pi + \text{Л} + \text{Ц}_{\text{в}}$); эвтектические ($C = 4,3\%$), структура ледеburит (Л) (рис. 9.4 б); заэвтектические ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледеburит + цементит первичный ($\text{Л} + \text{Ц}_{\text{п}}$) (рис. 9.4 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

Лекция 10

Стали. Классификация и маркировка сталей.

1. Влияние углерода и примесей на свойства сталей
2. Влияние углерода.
3. Влияние примесей.
4. Назначение легирующих элементов.
5. Распределение легирующих элементов в стали.
6. Классификация и маркировка сталей
7. Классификация сталей
8. Маркировка сталей
9. Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).
10. Качественные углеродистые стали
11. Качественные и высококачественные легированные стали
12. Легированные конструкционные стали
13. Легированные инструментальные стали
14. Быстрорежущие инструментальные стали
15. Шарикоподшипниковые стали

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием.

Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки. Стали, подразделяют на углеродистые и легированные.

Влияние углерода и примесей на свойства сталей

Углеродистые стали являются основными. Их свойства определяются количеством углерода и содержанием примесей, которые взаимодействуют с железом и углеродом.

Влияние углерода.

Влияние углерода на свойства сталей показано на рис. 10.1

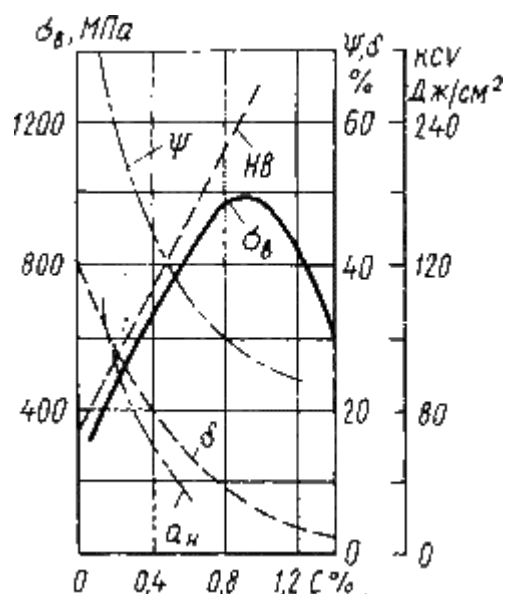


Рис.10.1. Влияние углерода на свойства сталей

С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита. Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около 1%, а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода повышает порог хладоломкости и снижает ударную вязкость.

Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода ухудшает литейные свойства стали (используются стали с содержанием углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

Влияние примесей.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы. 1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они являются технологическими примесями.

Содержание марганца не превышает 0,5...0,8 %. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает краснеломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа FeS , так как образует с серой соединение сульфид марганца MnS . Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает 0,35...0,4 %. Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка. Кремний растворяется в феррите и повышает

прочность стали, особенно повышается предел текучести, $\sigma_{0,2}$. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали $0,025...0,045$ %. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности σ_s и предел текучести $\sigma_{0,2}$, но снижает пластичность и вязкость.

Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин. Повышение содержания фосфора на каждую $0,01$ % повышает порог хладоломкости на $20...25^\circ\text{C}$.

Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость.

Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до $0,10...0,15$ %, для улучшения обрабатываемости резанием.

S – уменьшается пластичность, свариваемость и коррозионная стойкость. P – искажает кристаллическую решетку.

Содержание серы в сталях составляет $0,025...0,06$ %. Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы FeS , которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988°C . При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление *красноломкости*.

Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах

Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость a_k и пластичность (δ и ψ), а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* - газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (FeO , SiO_2 , Al_2O_3) нитридов (Fe_2N), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот *N*, кислород *O*) повышают порог хладоломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катанных заготовках и поковках *флокенов*.

Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета.

Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при $150...180^\circ$, лучше в вакууме $\sim 10^{-2}...10^{-3}$ мм рт. ст.

Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали - легированные сталями.

Назначение легирующих элементов.

Основным легирующим элементом является хром (0,8...1,2)%. Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладоломкости хромистых сталей - (0...-100)°С.

Дополнительные легирующие элементы.

Бор - 0.003%. Увеличивает прокаливаемость, а также повышает порог хладоломкости (+20...-60 °С).

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладоломкости до (+40...-60)°С.

Титан (~0,1%) вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена (0,15...0,46%) в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снижает порог хладоломкости до -20...-120°С. Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве (0,1...0,3) % в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль (20ХГС, 30ХГСА). Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием. Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Распределение легирующих элементов в стали.

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в Fe_α происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти атомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода.

Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют

меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а также кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее заполненную d – электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение d – электронной полосы атома металла, тогда как у металла валентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более $0,59$ образуются типичные химические соединения: Fe_3C , Mn_3C , $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_3W_3C – которые имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее $0,59$ образуются фазы внедрения: Mo_2C , WC , VC , TiC , TaC , W_2C – которые имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

4. Случайные примеси.

Классификация и маркировка сталей

Классификация сталей

Стали классифицируются по множеству признаков.

1. По химическому составу: углеродистые и легированные.
2. По содержанию углерода:
 - низкоуглеродистые, с содержанием углерода до $0,25\%$;
 - среднеуглеродистые, с содержанием углерода $0,3...0,6\%$;
 - высокоуглеродистые, с содержанием углерода выше $0,7\%$
3. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.
4. По качеству. Количественным показателем качества является содержание вредных примесей: серы и фосфора:
 - $0,04 \leq S \leq 0,06\%$, $0,04 \leq P \leq 0,08\%$ – углеродистые стали обыкновенного качества;
 - $P, S = 0,03...0,04\%$ – качественные стали;
 - $P, S \leq 0,03\%$ – высококачественные стали.
5. По способу выплавки:
 - в мартеновских печах;
 - в кислородных конверторах;
 - в электрических печах: электродуговых, индукционных и др.
6. По назначению:
 - конструкционные – применяются для изготовления деталей машин и механизмов;
 - инструментальные – применяются для изготовления различных инструментов;

- специальные – стали с особыми свойствами: электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др.

Маркировка сталей

Принято буквенно-цифровое обозначение сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).

Стали содержат повышенное количество серы и фосфора

Маркируются Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали. Цифры от 0 до 6 - это условный номер марки стали. С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали. По гарантиям при поставке существует три группы сталей: А, Б и В. Для сталей группы А при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей группы Б гарантируется химический состав. Для сталей группы В при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Индексы кп, пс, сп указывают степень раскисленности стали: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная.

Качественные углеродистые стали

Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

Конструкционные качественные углеродистые стали Маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной.

Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45.

Содержание углерода, соответственно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

Инструментальные качественные углеродистые стали маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента.

Сталь У8, сталь У13.

Содержание углерода, соответственно, 0,8 % и 1,3 %

Инструментальные высококачественные углеродистые стали. Маркируются аналогично качественным инструментальным углеродистым сталям, только в конце марки ставят букву А, для обозначения высокого качества стали.

Сталь У10А.

Качественные и высококачественные легированные стали

Обозначение буквенно-цифровое. Легирующие элементы имеют условные обозначения, Обозначаются буквами русского алфавита.

Обозначения легирующих элементов:

Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам,

К – кобальт, Т – титан, А – азот (указывается в середине марки),
Г – марганец, Д – медь, Ф – ванадий, С – кремний,
П – фосфор, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий,
Ю – алюминий

Легированные конструкционные стали

Сталь 15Х25Н19ВС2

В начале марки указывается двухзначное число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента. Далее перечисляются легирующие элементы. Число, следующее за условным обозначением элемента, показывает его содержание в процентах,

Если число не стоит, то содержание элемента не превышает 1,5 %.

В указанной марке стали содержится 0,15 % углерода, 35% хрома, 19 % никеля, до 1,5% вольфрама, до 2 % кремния.

Для обозначения высококачественных легированных сталей в конце марки указывается символ А.

Легированные инструментальные стали

Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

В начале марки указывается однозначное число, показывающее содержание углерода в десятых долях процента. При содержании углерода более 1 %, число не указывается,

Далее перечисляются легирующие элементы, с указанием их содержания.

Некоторые стали имеют нестандартные обозначения.

Быстрорежущие инструментальные стали

Сталь Р18

Р – индекс данной группы сталей (от rapid – скорость). Содержание углерода более 1%. Число показывает содержание основного легирующего элемента – вольфрама.

В указанной стали содержание вольфрама – 18 %.

Если стали содержат легирующие элемент, то их содержание указывается после обозначения соответствующего элемента.

Шарикоподшипниковые стали

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС

Ш – индекс данной группы сталей. Х – указывает на наличие в стали хрома. Последующее число показывает содержание хрома в десятых долях процента, в указанных сталях, соответственно, 0,6 % и 1,5 %. Также указываются входящие в состав стали легирующие элементы. Содержание углерода более 1 %.

Лекция 11.

Чугуны. Диаграмма состояния железо – графит. Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов

1. Классификация чугунов
2. Диаграмма состояния железо – графит.
3. Процесс графитизации.
4. Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов
5. Влияние состава чугуна на процесс графитизации.
6. Влияние графита на механические свойства отливок.
7. Положительные стороны наличия графита.
8. Серый чугун.
9. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.
10. Ковкий чугун
11. Отбеленные и другие чугуны

Классификация чугунов

Чугун отличается от стали: по составу – более высокое содержание углерода и примесей; по технологическим свойствам – более высокие литейные свойства, малая способность к пластической деформации, почти не используется в сварных конструкциях.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- белый чугун – углерод в связанном состоянии в виде цементита, в изломе имеет белый цвет и металлический блеск;
- серый чугун – весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде графита, а в связанном состоянии находится не более 0,8 % углерода. Из-за большого количества графита его излом имеет серый цвет;
- половинчатый – часть углерода находится в свободном состоянии в форме графита, но не менее 2 % углерода находится в форме цементита. Мало используется в технике.

Диаграмма состояния железо – графит.

В результате превращения углерод может не только химически взаимодействовать с железом, но и выделяться в элементарном состоянии в форме графита. Жидкая фаза, аустенит и феррит могут находиться в равновесии и с графитом.

Диаграмма состояния железо – графит показана штриховыми линиями на рис. 11.1. Линии диаграммы находятся выше линий диаграммы железо – цементит. Температуры эвтектического и эвтектоидного превращений, соответственно, 1153°C и 738°C . Точки C , E , S – сдвинуты влево, и находятся при концентрации углерода 4,24, 2,11 и 0,7 %, соответственно.



При малых скоростях охлаждения степень разложения цементита больше.

Графитизацию из жидкой фазы, а также от распада цементита первичного и цементита, входящего в состав эвтектики, называют *первичной стадией графитизации*.

Выделение вторичного графита из аустенита называют *промежуточной стадией графитизации*.

Образование эвтектоидного графита, а также графита, образовавшегося в результате цементита, входящего в состав перлита, называют *вторичной стадией графитизации*.

Структура чугунов зависит от степени графитизации, т.е. от того, сколько углерода находится в связанном состоянии.

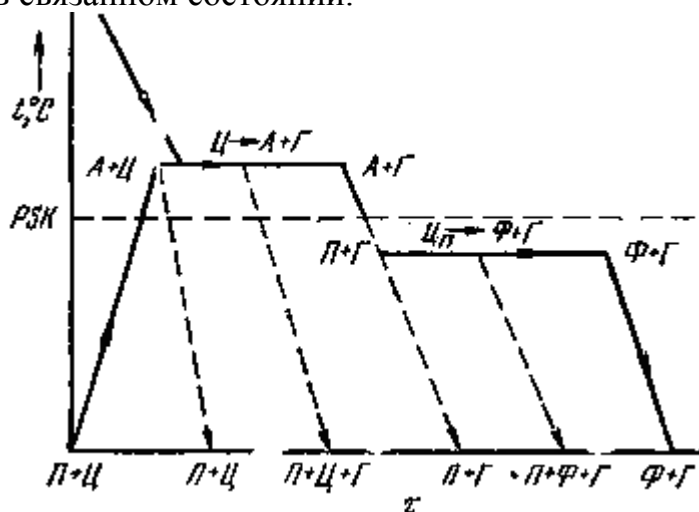


Рис. 11.2. Схема образования структур при графитизации

Выдержка при температуре больше $738^{\circ}C$ приводит к графитизации избыточного нерастворившегося цементита. Если процесс завершить полностью, то при высокой температуре структура будет состоять из аустенита и графита, а после охлаждения – из перлита и графита.

При незавершенности процесса первичной графитизации, выше температуры $738^{\circ}C$ структура состоит из аустенита, графита и цементита, а ниже этой температуры – из перлита, графита и цементита.

При переходе через критическую точку превращения аустенита в перлит, и выдержке при температуре ниже критической приведет к распаду цементита, входящего в состав перлита (вторичная графитизация). Если процесс завершен полностью то структура состоит из феррита и графита, при незавершенности процесса – из перлита, феррита и графита.

Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов

Из рассмотрения структур чугунов можно заключить, что их металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали или технического железа. Отличаются от стали только наличием графитовых включений, определяющих специальные свойства чугунов.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: *серый* – с пластинчатым графитом; *высокопрочный* – с шаровидным графитом; *ковкий* – с хлопьевидным графитом.

Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений представлены на рис. 11.3

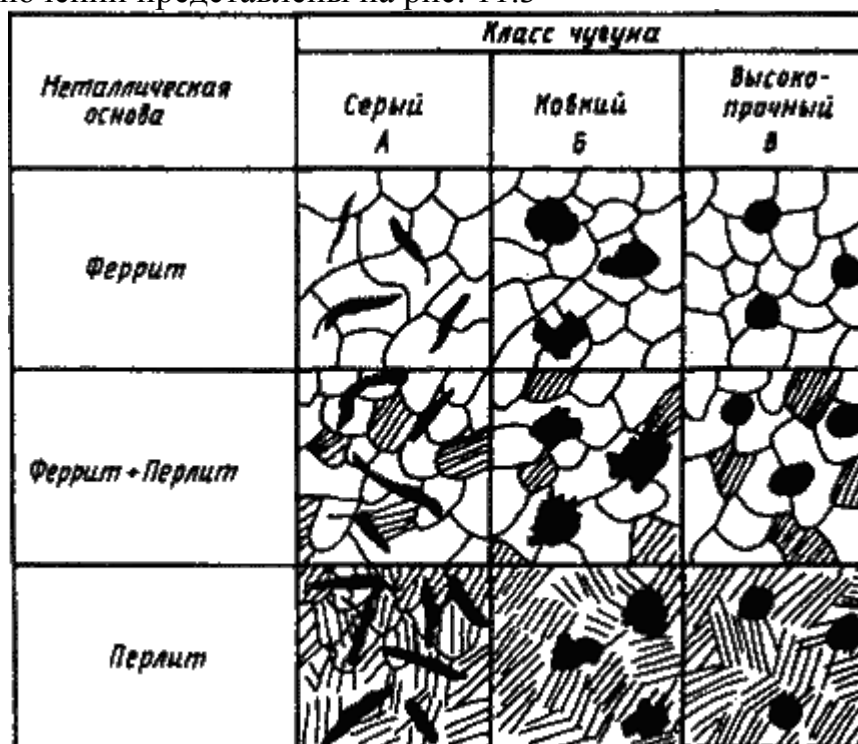


Рис. 11.3. Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Наиболее широкое распространение получили чугуны с содержанием углерода 2,4...3,8%. Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства, следовательно, количество углерода не должно превышать 3,8 %. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее 2,4 %.

Влияние состава чугуна на процесс графитизации.

Углерод и кремний способствуют графитизации, марганец затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна. Сера способствует отбеливанию чугуна и ухудшает литейные свойства, ее содержание ограничено – 0,08...0,12 %. Фосфор на процесс графитизации не влияет, но улучшает жидкотекучесть, Фосфор является в чугунах полезной примесью, его содержание – 0,3...0,8 %.

Влияние графита на механические свойства отливок.

Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной

мере разупрочняют металл. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение (δ) для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%.

Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита.

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

Серый чугун.

Структура не оказывает влияние на пластичность, она остается чрезвычайно низкой. Но оказывает влияние на твердость. Механическая прочность в основном определяется количеством, формой и размерами включений графита. Мелкие, завитой формы чешуйки графита меньше снижают прочность. Такая форма достигается путем модифицирования. В качестве модификаторов применяют алюминий, силикокальций, ферросилиций.

Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами.

В зависимости от прочности серый чугун подразделяют на 10 марок (ГОСТ 1412).

Серые чугуны при малом сопротивлении растяжению имеют достаточно высокое сопротивление сжатию.

Серые чугуны содержат углерода – 3,2...3,5 %; кремния – 1,9...2,5 %; марганца – 0,5...0,8 %; фосфора – 0,1...0,3 %; серы – < 0,12 %.

Структура металлической основы зависит от количества углерода и кремния. С увеличением содержания углерода и кремния увеличивается степень графитизации и склонность к образованию ферритной структуры металлической основы. Это ведет к разупрочнению чугуна без повышения пластичности. Лучшими прочностными свойствами и износостойкостью обладают перлитные серые чугуны.

Учитывая малое сопротивление отливок из серого чугуна растягивающим и ударным нагрузкам, следует использовать этот материал для деталей, которые подвергаются сжимающим или изгибающим нагрузкам. В станкостроении это –

базовые, корпусные детали, кронштейны, зубчатые колеса, направляющие; в автостроении - блоки цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, диски сцепления. Отливки из серого чугуна также используются в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.

Обозначаются индексом СЧ (серый чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} СЧ 15.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), феррито-перлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу. Получают эти чугуны из серых, в результате модифицирования магнием или церием (добавляется 0,03...0,07% от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за шаровидной формы графита.

Чугуны с перлитной металлической основой имеют высокие показатели прочности при меньшем значении пластичности. Соотношение пластичности и прочности ферритных чугунов - обратное.

Высокопрочные чугуны обладают высоким пределом текучести,

$$\sigma_{\text{т}} = 300...420 \text{ МПа},$$

что выше предела текучести стальных отливок. Также характерна достаточно высокая ударная вязкость и усталостная прочность,

$$\sigma_{-1} = 230...250 \text{ МПа},$$

при перлитной основе.

Высокопрочные чугуны содержат: углерода – 3,2...3,8 %, кремния – 1,9...2,6 %, марганца – 0,6...0,8 %, фосфора – до 0,12 %, серы – до 0,3 %.

Эти чугуны обладают высокой жидкотекучестью, линейная усадка – около 1%. Литейные напряжения в отливках несколько выше, чем для серого чугуна. Из-за высокого модуля упругости достаточно высокая обрабатываемость резанием. Обладают удовлетворительной свариваемостью.

Из высокопрочного чугуна изготавливают тонкостенные отливки (поршневые кольца), шаботы ковочных молотов, станины и рамы прессов и прокатных станов, изложницы, резцедержатели, планшайбы.

Отливки коленчатых валов массой до 2..3 т, взамен кованных валов из стали, обладают более высокой циклической вязкостью, малочувствительны к внешним концентраторам напряжения, обладают лучшими антифрикционными свойствами и значительно дешевле.

Обозначаются индексом ВЧ (высокопрочный чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} ВЧ 100.

Ковкий чугун

Получают отжигом белого доэвтектического чугуна.

Хорошие свойства у отливок обеспечиваются, если в процессе кристаллизации и охлаждения отливок в форме не происходит процесс графитизации. Чтобы

предотвратить графитизацию, чугуны должны иметь пониженное содержание углерода и кремния.

Ковкие чугуны содержат: углерода – 2,4...3,0 %, кремния – 0,8...1,4 %, марганца – 0,3...1,0 %, фосфора – до 0,2 %, серы – до 0,1 %.

Формирование окончательной структуры и свойств отливок происходит в процессе отжига, схема которого представлена на рис. 11.4.

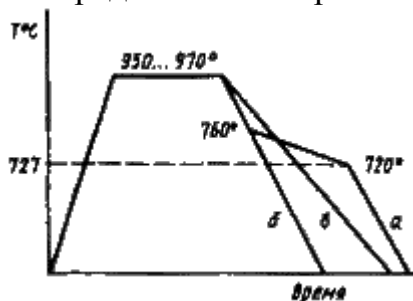


Рис. 11.4. Отжиг ковкого чугуна.

Отливки выдерживаются в печи при температуре 950...1000⁰ С в течении 15...20 часов. Происходит разложение цементита: $Fe_3C \rightarrow Fe_2(C) + C$.

Структура после выдержки состоит из аустенита и графита (углерод отжига). При медленном охлаждении в интервале 760...720⁰С, происходит разложение цементита, входящего в состав перлита, и структура после отжига состоит из феррита и углерода отжига (получается ферритный ковкий чугун).

При относительно быстром охлаждении (режим б, рис. 11.3) вторая стадия полностью устраняется, и получается перлитный ковкий чугун.

Структура чугуна, отожженного по режиму в, состоит из перлита, феррита и графита отжига (получается феррито-перлитный ковкий чугун)

Отжиг является длительной 70...80 часов и дорогостоящей операцией. В последнее время, в результате усовершенствований, длительность сократилась до 40 часов.

Различают 7 марок ковкого чугуна: три с ферритной (КЧ 30 – 6) и четыре с перлитной (КЧ 65 – 3) основой (ГОСТ 1215).

По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным является ограничение толщины стенок для отливки и необходимость отжига.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

Из ферритных чугунов изготавливают картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы.

Из перлитных чугунов, характеризующихся высокой прочностью, достаточной пластичностью, изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, тормозные колодки.

Обозначаются индексом КЧ (высокопрочный чугун) и двумя числами, первое из которых показывает значение предела прочности, умноженное на 10⁻¹, а второе – относительное удлинение - КЧ 30 - 6.

Отбеленные и другие чугуны

Отбеленные – отливки, поверхность которых состоит из белого чугуна, а внутри серый или высокопрочный чугун.

В составе чугуна 2,8...3,6 % углерода, и пониженное содержание кремния –0,5...0,8 %.

Имеют высокую поверхностную твердость (950...1000 НВ) и очень высокую износостойкость. Используются для изготовления прокатных валов, вагонных колес с отбеленным ободом, шаров для шаровых мельниц.

Для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа, используются белые чугуны, легированные хромом, хромом и марганцем, хромом и никелем. Отливки из такого чугуна отличаются высокой твердостью и износостойкостью.

Для деталей, работающих в условиях износа при высоких температурах, используют высокохромистые и хромоникелевые чугуны. Жаростойкость достигается легированием чугунов кремнием (5...6 %) и алюминием (1...2 %). Коррозионная стойкость увеличивается легированием хромом, никелем, кремнием.

Для чугунов можно применять термическую обработку.

Лекция 12

Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.

1. Виды термической обработки металлов.
2. Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении
3. Механизм основных превращений
4. Превращение перлита в аустенит
5. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении.
6. Закономерности превращения.
7. Промежуточное превращение

Виды термической обработки металлов.

Свойства сплава зависят от его структуры. Основным способом, позволяющим изменять структуру, а, следовательно, и свойства является термическая обработка.

Основы термической обработки разработал Чернов Д.К.. В дальнейшем они развивались в работах Бочвара А.А., Курдюмова Г.В., Гуляева А.П.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время, см. рис. 12.1).

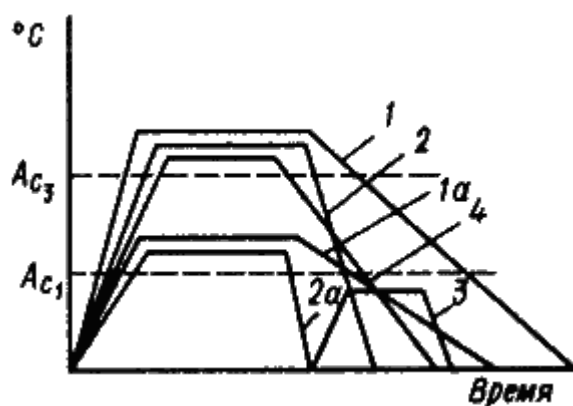


Рис.12.1. Графики различных видов термообработки: отжига (1, 1а), закалки (2, 2а), отпуска (3), нормализации (4)

Различают следующие виды термической обработки:

1. Отжиг I рода – возможен для любых металлов и сплавов.

Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии.

Нагрев, при отжиге первого рода, повышая подвижность атомов, частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутреннее напряжения.

Основное значение имеет температура нагрева и время выдержки. Характерным является медленное охлаждение

Разновидностями отжига первого рода являются:

- диффузионный;
- рекристаллизационный;
- отжиг для снятия напряжения послековки, сварки, литья.

2. *Отжиг II рода* – отжиг металлов и сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении.

Проводится для сплавов, в которых имеются полиморфные или эвтектоидные превращения, а также переменная растворимость компонентов в твердом состоянии.

Проводят отжиг второго рода с целью получения более равновесной структуры и подготовки ее к дальнейшей обработке. В результате отжига измельчается зерно, повышаются пластичность и вязкость, снижаются прочность и твердость, улучшается обрабатываемость резанием.

Характеризуется нагревом до температур выше критических и очень медленным охлаждением, как правило, вместе с печью (рис. 12.1 (1, 1а)).

3. *Закалка* – проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышения твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит).

Характеризуется нагревом до температур выше критических и высокими скоростями охлаждения (рис. 12.1 (2, 2а)).

4. *Отпуск* – проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей.

Характеризуется нагревом до температуры ниже критической A_1 (рис. 12.1 (3)). Скорость охлаждения роли не играет. Происходят превращения, уменьшающие степень неравновесности структуры закаленной стали.

Термическую обработку подразделяют на *предварительную* и *окончательную*.

Предварительная – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием).

Окончательная – формирует свойство готового изделия.

Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении

Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии (рис 12.2).

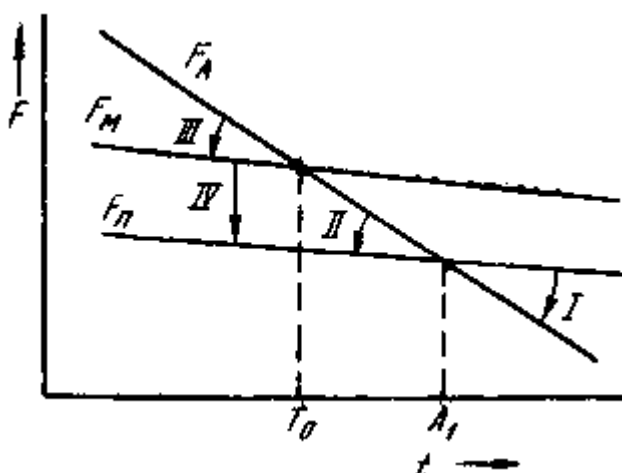


Рис. 12.2. Зависимость свободной энергии структурных составляющих сталей от температуры: аустенита (F_A), мартенсита (F_M), перлита ($F_П$)

1. Превращение перлита в аустенит ($П \rightarrow A$), происходит при нагреве выше критической температуры A_1 , минимальной свободной энергией обладает аустенит.



2. Превращение аустенита в перлит ($A \rightarrow П$), происходит при охлаждении ниже A_1 , минимальной свободной энергией обладает перлит:



3. Превращение аустенита в мартенсит ($A \rightarrow M$), происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия



4. Превращение мартенсита в перлит ($M \rightarrow П$); – происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита.



Механизм основных превращений

1. Превращение перлита в аустенит

Превращение основано на диффузии углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$, а так же растворением цементита в аустените.

Для исследования процессов строят диаграммы изотермического образования аустенита (рис.12.3). Для этого образцы нагревают до температуры выше A_1 и выдерживают, фиксируя начало и конец превращения.

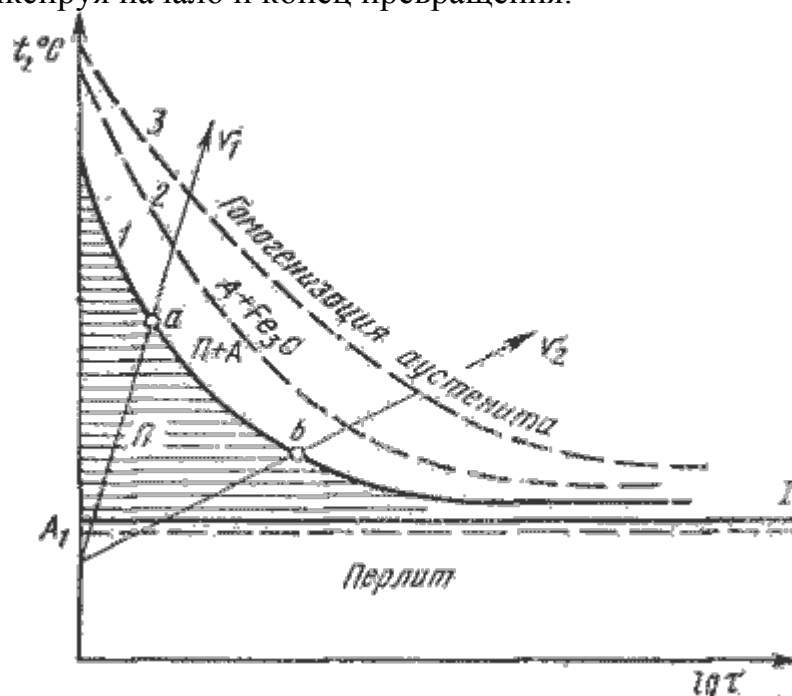


Рис. 12.3. Диаграмма изотермического образования аустенита: 1 - начало образования аустенита; 2 - конец преобразования перлита в аустенит; 3 - полное растворение цементита.

С увеличением перегрева и скорости нагрева продолжительность превращения сокращается.

Механизм превращения представлен на рис.12.4.

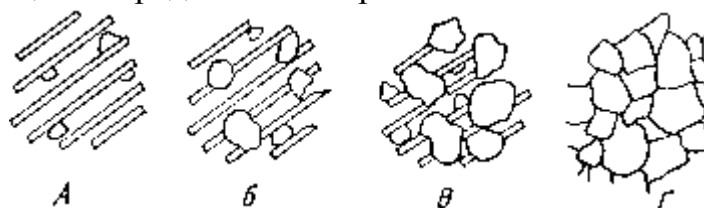


Рис. 12.4. Механизм превращения перлита в аустенит.

Превращение начинаются с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка Fe_{α} перестраивается в решетку Fe_{γ} .

Время превращения зависит от температуры, так как с увеличением степени перегрева уменьшается размер критического зародыша аустенита, увеличиваются скорость возникновения зародышей и скорость их роста

Образующиеся зерна аустенита имеют вначале такую же концентрацию углерода, как и феррит. Затем в аустените начинает растворяться вторая фаза перлита – цементит, следовательно, концентрация углерода увеличивается. Превращение Fe_{α} в Fe_{γ} идет быстрее. После того, как весь цементит растворится,

аустенит неоднороден по химическому составу: там, где находились пластинки цементита концентрация углерода более высокая. Для завершения процесса перераспределения углерода в аустените требуется дополнительный нагрев или выдержка.

Величина образовавшегося зерна аустенита оказывает влияние на свойства стали.

Рост зерна аустенита. Образующиеся зерна аустенита получают мелкими (начальное зерно). При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. Движущей силой роста является разность свободных энергий мелкозернистой (большая энергия) и крупнозернистой (малая энергия) структуры аустенита.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита. Если зерно аустенита начинает быстро расти даже при незначительном нагреве выше температуры A_1 , то сталь наследственно крупнозернистая. Если зерно растет только при большом перегреве, то сталь наследственно мелкозернистая.

Склонность к росту аустенитного зерна является плавочной характеристикой. Стали одной марки, но разных плавок могут различаться, так как содержат неодинаковое количество неметаллических включений, которые затрудняют рост аустенитного зерна.

Ванадий, титан, молибден, вольфрам, алюминий – уменьшают склонность к росту зерна аустенита, а марганец и фосфор – увеличивают ее.

Заэвтектоидные стали менее склонны к росту зерна.

При последующем охлаждении зерна аустенита не измельчаются. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства. Крупное зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладоломкости.

Различают величину *зерна наследственного и действительного*.

Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до 930°C и затем определяют размер зерна.

Действительная величина зерна – размер зерна при обычных температурах, полученный после той или иной термической обработки.

Неправильный режим нагрева может привести либо к *перегреву*, либо к *пережогу* стали.

Перегрев. Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры A_3 приводит к интенсивному росту зерна аустенита. При охлаждении феррит выделяется в виде пластинчатых или игольчатых кристаллов. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами. Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный. Пережог – неисправимый брак.

2. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении.



Превращение связано с диффузией углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$, выделением углерода из аустенита в виде цементита, разрастанием образовавшегося цементита.

В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения. Вначале, с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, а затем убывает. При температуре $727^\circ C$ и ниже $200^\circ C$ скорость равна нулю. При температуре $200^\circ C$ равна нулю скорость диффузии углерода.

Закономерности превращения.

Образцы нагревают до температуры, при которой структура состоит из однородного аустенита ($770^\circ C$). Затем переносят в термостаты с заданной температурой (интервал $25 - 50^\circ C$). Превращение аустенита можно легко обнаружить с помощью наблюдений за изменением магнитных характеристик, так как аустенит парамагнитен, а феррит и цементит обладают магнитными свойствами.

Получают серию кинетических кривых (рис. 12.5 а), которые показывают количество образовавшегося перлита в зависимости от времени, прошедшего с начала превращения.

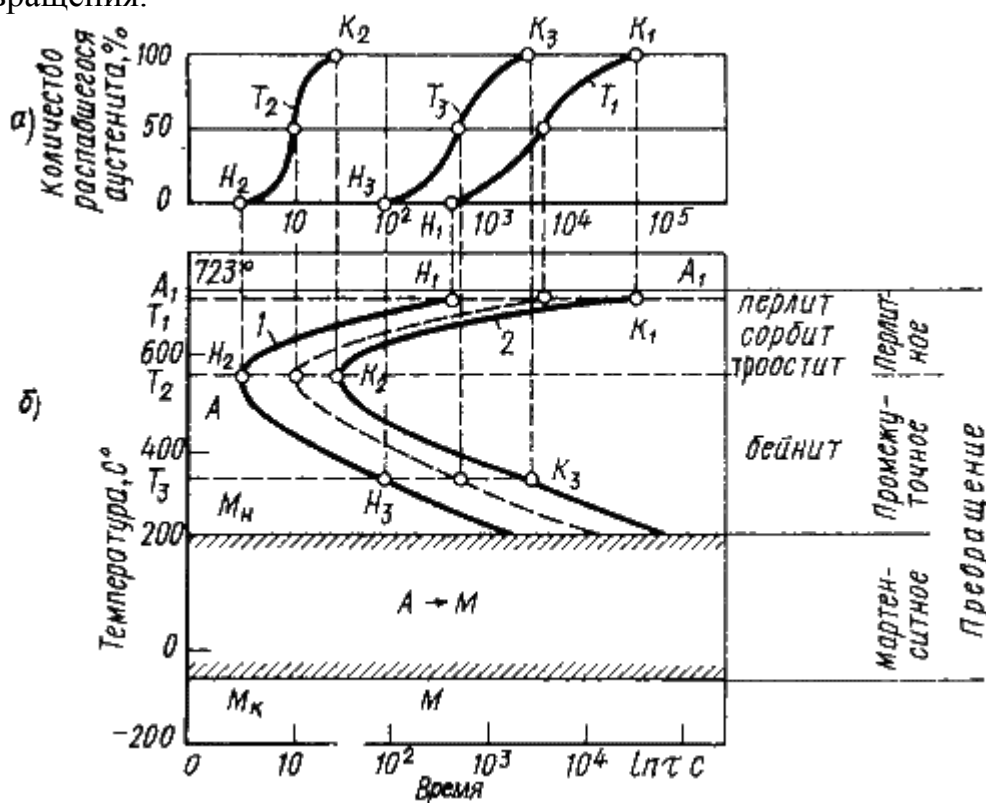


Рис. 12.5. Кинетические кривые превращения аустенита при охлаждении (а); диаграмма изотермического превращения аустенита (б)

В начале наблюдается инкубационный подготовительный период, время, в течение которого сохраняется переохлажденный аустенит. Превращение протекает с различной скоростью и достигает максимума при образовании 50 % продуктов распада.

Затем скорость начинает уменьшаться и постепенно затухает. С увеличением степени переохлаждения устойчивость аустенита уменьшается, а затем увеличивается.

Горизонтальная линия M_n показывает температуру начала бездиффузного мартенситного превращения. Такие диаграммы называются *диаграммами изотермического превращения аустенита* (рис. 12.5 б).

При малых степенях переохлаждения, в области температур $727...550^\circ \text{C}$, сущность превращения заключается в том, что в результате превращения аустенита образуется механическая смесь феррита и цементита, состав которой отличается от состава исходного аустенита. Аустенит содержит $0,8\%$ углерода, а образующиеся фазы: феррит $-0,02\%$, цементит $-6,67\%$ углерода.

Время устойчивости аустенита и скорость его превращения зависят от степени переохлаждения.

Максимальная скорость превращения соответствует переохлаждению ниже температуры A_1 на $150...200^\circ \text{C}$, то есть соответствует минимальной устойчивости аустенита.

Механизм превращения представлен на рис. 12.6.

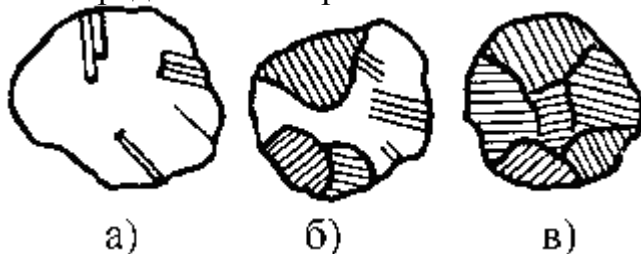


Рис. 12.6. Механизм превращения аустенита в перлит

При образовании перлита из аустенита ведущей фазой является цементит. Зарождение центров кристаллизации цементита облегчено на границе аустенитных зерен. Образовавшаяся пластинка цементита растет, удлиняется и обедняет соседние области углеродом. Рядом с ней образуются пластинки феррита. Эти пластинки растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с кристаллами перлита, растущими из других центров.

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада.

Толщина соседних пластинок феррита и цементита определяет дисперсность структуры и обозначается Δ_0 . Она зависит от температуры превращения. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют различное название.

$$\Delta_0 \approx (0,5...0,7)10^{-3} \text{ мм} - \text{перлит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 650...700^\circ \text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 30...60^\circ \text{C/ч}$. Твердость составляет $180...250 \text{ НВ}$.

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{сорбит}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 600...650^\circ \text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 60^\circ \text{C/с}$. Твердость составляет $250...350 \text{ НВ}$. Структура характеризуется высоким пределом упругости, достаточной вязкостью и прочностью.

$\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3}$ мм – троостит

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 550 \dots 600$ °С, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 150$ °С/с. Твердость составляет 350...450 НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, малой вязкостью и лпастичностью.

Твердость ферритно-цементитной смеси прямопропорциональна площади поверхности раздела между ферритом и цементитом..

Если температура нагрева незначительно превышала теипературу A_1 и полученый аустенит неоднороден по составу, то при малой степени переохлаждения образуется зернистый леплит.

Промежуточное превращение

При температуре ниже 550 °С самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью.

Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом превращаются в цементит.

Превращение обедненного углеродом аустенита в феррит происходит по сдвиговому механизму, путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом кристаллы имеют игольчатую форму.

Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется *бейнитом*. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите (0.1...0.2 %).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

При температуре $550^\circ\text{C} - \Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм – *верхний бейнит*. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении (δ) и ударной вязкости (α_u).

При температуре $300^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C} - \Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$ – *нижний бейнит*. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

Лекция 13

Основы теории термической обработки стали (продолжение) Технологические особенности и возможности отжига и нормализации.

1. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения
2. Превращение мартенсита в перлит.
3. Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска
4. Отжиг и нормализация. Назначение и режимы
5. Отжиг первого рода.

3. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением Fe_γ в Fe_α .

При охлаждении стали со скоростью, большей критической ($V > V_k$), превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения (M_n) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения (M_k). В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – мартенсит.

Минимальная скорость охлаждения V_k , при которой весь аустенит переохлаждается до температуры $t.M_n$ и превращается, называется критической скоростью закалки.

Так как процесс диффузии не происходит, то весь углерод аустенита остается в решетке Fe_α и располагается либо в центрах тетраэдров, либо в середине длинных ребер (рис. 13.1).

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Fe_α .

При образовании мартенсита кубическая решетка Fe_α сильно искажается, превращаясь в тетрагональную (рис. 13.1 а). Искажение решетки характеризуется степенью тетрагональности: $c/a > 1$. Степень тетрагональности прямопропорциональна содержанию углерода в стали (рис. 13.1 б).

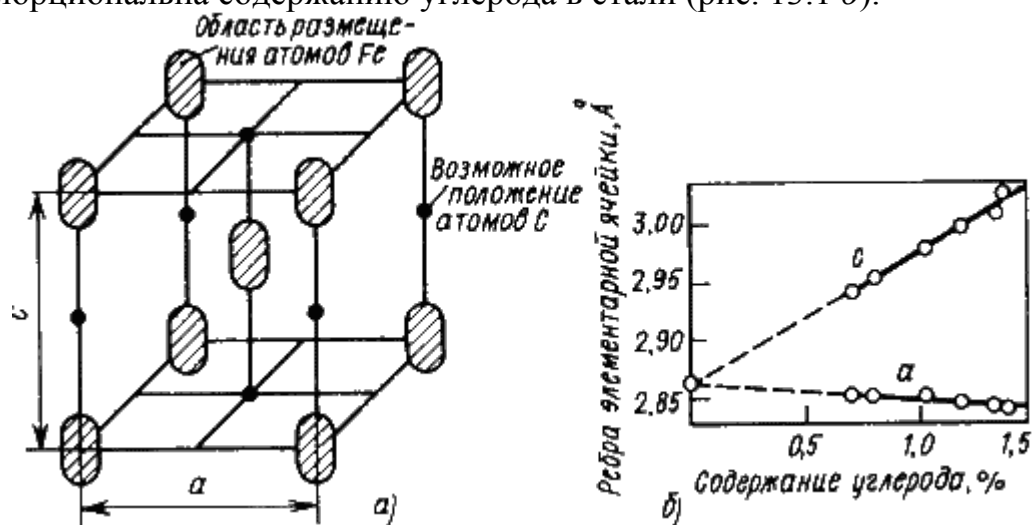


Рис. 13.1. Кристаллическая решетка мартенсита (а); влияние содержания углерода на параметры a и c решетки мартенсита (б)

Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей.

1. Бездиффузионный характер.

Превращение осуществляется по сдвиговому механизму. В начале превращения имеется непрерывный переход от решетки аустенита к решетке мартенсита (когерентная связь). При превращении гранецентрированной кубической решетки в объемно-центрированную кубическую атомы смещаются на расстояния меньше межатомных, т.е. нет необходимости в самодиффузии атомов железа.

2. Ориентированность кристаллов мартенсита.

Кристаллы имеют форму пластин, сужающихся к концу, под микроскопом такая структура выглядит как игольчатая. Образуюсь мгновенно пластины растут либо до границы зерна аустенита, либо до дефекта. Следующие пластины расположены к первым под углами 60° или 120° , их размеры ограничены участками между первыми пластинами (рис. 13.2).



Рис. 13.2. Ориентированность кристаллов мартенсита

Ориентированный (когерентный) рост кристаллов мартенсита обеспечивает минимальную поверхностную энергию. При когерентном росте, из-за различия объемов аустенита и мартенсита, возникают большие напряжения. При достижении определенной величины кристаллов мартенсита, эти напряжения становятся равными пределу текучести аустенита. В результате этого нарушается когерентность и происходит отрыв решетки мартенсита от решетки аустенита. Рост кристаллов прекращается.

3. Очень высокая скорость роста кристалла, до 1000 м/с.

4. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении. Для каждой стали начинается и заканчивается при определенной температуре, независимо от скорости охлаждения. Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой M_H , а температуру окончания превращения – M_K . Температуры M_H и M_K зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения. Для сталей с содержанием углерода выше $0,6\%$ M_K уходит в область отрицательных температур (рис.13.3)

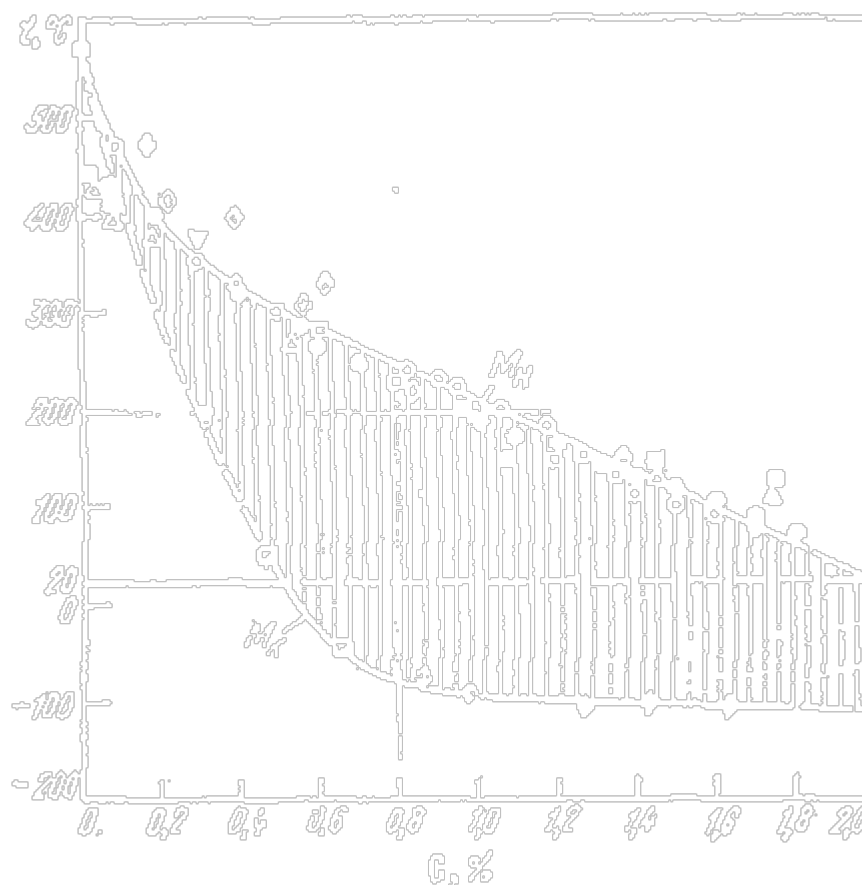


Рис. 13.3. Зависимость температур начала (M_H) и конца (M_K) мартенситного превращения от содержания углерода в стали

Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше M_H .

В сталях с M_K ниже 20°C присутствует аустенит остаточный, его количество тем больше, чем ниже M_H и M_K (при содержании углерода $0,6...1,0\%$ количество аустенита остаточного – 10% , при содержании углерода $1,5\%$ – до 50%). В микроструктуре наблюдается в виде светлых полей между иглами мартенсита.

5. Превращение необратимое. Получить аустенит из мартенсита невозможно.

Свойства мартенсита обусловлены особенностями его образования. Он характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью, что обуславливает хрупкость.

Твердость составляет до 65 HRC . Высокая твердость вызвана влиянием внедренных атомов углерода в решетку α -фазы, что вызывает ее искажение и возникновение напряжений. С повышением содержания углерода в стали возрастает склонность к хрупкому разрушению.

4. Превращение мартенсита в перлит.

Имеет место при нагреве закаленных сталей. Превращение связано с диффузией углерода.

Мартенсит закалки неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. Для получения равновесной структуры изделия подвергают отпуску.

При нагреве закаленной стали происходят следующие процессы.

При нагреве до 200°C происходит перераспределение углерода в мартенсите. Образуются пластинки ϵ -карбидов толщиной несколько атомных диаметров. На образование карбидов углерод расходуется только из участков мартенсита, окружающих кристаллы выделившихся карбидов. Концентрация углерода на этих участках резко падает, тогда как удаленные участки сохраняют концентрацию углерода. В стали присутствуют карбиды и два α -твердых раствора мартенсита (с высокой и низкой концентрацией углерода). Такой тип распада мартенсита называется прерывистым. Скорость диффузии мала, карбиды не увеличиваются, распад мартенсита сопровождается зарождением новых карбидных частиц. Таким образом имеем структуру с неравномерным распределением углерода – *это мартенсит отпуска*. При этом несколько снижается тетрагональность решетки.

При нагреве до 300°C идет рост образовавшихся карбидов. Карбиды выделяются из мартенсита и он обедняется углеродом. Диффузия углерода увеличивается и карбиды растут в результате притока углерода из областей твердого раствора с высокой его концентрацией. Кристаллическая решетка карбидов когерентно связана с решеткой мартенсита.

В высокоуглеродистых сталях аустенит остаточный превращается в мартенсит отпуска. Наблюдается снижение тетрагональности решетки и внутренних напряжений. Структура – *мартенсит отпуска*.

При нагреве до 400°C весь избыточный углерод выделяется из Fe_α . Карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение цементита, и начинают расти. Форма карбидных частиц приближается к сферической.

Высокодисперсная смесь феррита и цементита называется *троостит отпуска*;

При нагреве выше 400°C изменение фазового состава не происходит, изменяется только микроструктура. Имеет место рост и сфероидизация цементита. Наблюдается растворение мелких и рост крупных карбидных частиц.

При температуре $550...600^{\circ}\text{C}$ имеем *сорбит отпуска*. Карбиды имеют зернистое строение. Улучшаются свойства стали.

При температуре $650...700^{\circ}\text{C}$ получают более грубую ферритно-цементитную смесь – *перлит отпуска (зернистый перлит)*.

Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска

При разработке технологии необходимо установить:

- режим нагрева деталей (температуру и время нагрева);
- характер среды, где осуществляется нагрев и ее влияние на материал стали;
- условия охлаждения.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с диаграммами состояния и диаграммой изотермического распада аустенита.

Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин.

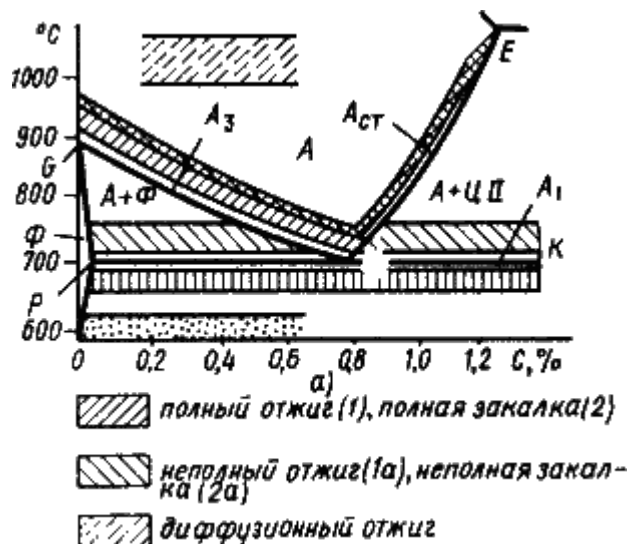


Рис. 13. 4. Левый угол диаграммы состояния железо – цементит и температурные области нагрева при термической обработке сталей

Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, однороднее ее структура, проще конфигурация.

Скорость нагрева принимается $0,8...1$ мин на 1 мм сечения. Время выдержки принимается около 20% от времени нагрева.

Среда нагрева при нагреве в печи с газовой средой.

Составляющие могут оказывать на сталь различное действие:

- окисляющее (O_2 , CO_2 , H_2O);
- восстанавливающее (CO , CH_4);
- обезуглероживающее (O_2 , H_2);
- науглероживающее (CO , CH_4);
- нейтральное (N_2 , инертные газы).

Окисление с образованием окалины Fe_2O_3 , препятствует получению высокой и равномерной твердости при закалке, приводит к изменению размеров, требует увеличения припусков на механическую обработку.

Обезуглероживание (выгорание углерода в поверхностном слое металла) способствует появлению мягких пятен при закалке и возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность.

На рис. 13.4 показаны температурные области нагрева при термической обработке сталей.

Отжиг и нормализация. Назначение и режимы

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет:

- улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием;
- исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литье стали;
- подготовить структуру к последующей термической обработке.

Характерно медленное охлаждение со скоростью $30...100^\circ\text{C}/\text{ч}$.

Отжиг первого рода.

1. *Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг*. Применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава.

В его основе – диффузия. В результате нагрева выравнивается состав, растворяются избыточные карбиды. Применяется, в основном, для легированных сталей.

Температура нагрева зависит от температуры плавления, $T_H = 0,8 T_{пл}$.

Продолжительность выдержки: $\tau = 8...20$ часов.

2. *Рекристаллизационный отжиг* проводится для снятия напряжений после холодной пластической деформации.

Температура нагрева связана с температурой плавления: $T_H = 0,4 T_{пл}$.

Продолжительность зависит от габаритов изделия.

3. Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки (литья, сварки, обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров).

Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения, находится в широком диапазоне: $T_H = 160...700^\circ\text{C}$.

Продолжительность зависит от габаритов изделия.

Детали прецизионных станков (ходовые винты, высоконагруженные зубчатые колеса, червяки) отжигают после основной механической обработки при температуре $570...600^\circ\text{C}$ в течение $2...3$ часов, а после окончательной механической обработки, для снятия шлифовочных напряжений – при температуре $160...180^\circ\text{C}$ в течение $2...2,5$ часов.

Отжиг второго рода предназначен для изменения фазового состава.

Температура нагрева и время выдержки обеспечивают нужные структурные превращения. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения.

Является подготовительной операцией, которой подвергают отливки, поковки, прокат. Отжиг снижает твердость и прочность, улучшает обрабатываемость резанием средне- и высокоуглеродистых сталей. Измельчая зерно, снижая внутренние напряжения уменьшая структурную неоднородность способствует повышению пластичности и вязкости.

В зависимости от температуры нагрева различают отжиг:

1. *полный*, с температурой нагрева на $30...50^\circ\text{C}$ выше критической температуры A_3

$$T_H = A_3 + (30...50)^\circ\text{C}$$

Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры.

При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый, и после охлаждения сталь имеет также мелкозернистую структуру.

2. *неполный*, с температурой нагрева на $30...50^{\circ}\text{C}$ выше критической температуры A_1

$$T_{\text{н}} = A_1 + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. При таком нагреве в структуре сохраняется цементит вторичный, в результате отжига цементит приобретает сферическую форму (сфероидизация). Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой дробится цементитная сетка. Структура с зернистым цементитом лучше обрабатывается и имеет лучшую структуру после закалки. Неполный отжиг является обязательным для инструментальных сталей.

Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправление структуры (сталь мелкозернистая), а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием.

3. *циклический или маятниковый отжиг* применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A_1 следует охлаждение до 680°C , затем снова нагрев до температуры $750...760)^{\circ}\text{C}$ и охлаждение. В результате получают зернистый цементит.

4. *изотермический отжиг* – после нагрева до требуемой температуры, изделие быстро охлаждают до температуры на $50...100^{\circ}\text{C}$ ниже критической температуры A_1 и выдерживают до полного превращения аустенита в перлит, затем охлаждают на спокойном воздухе (рис. 13.5). Температура изотермической выдержки близка к температуре минимальной устойчивости аустенита.

В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.

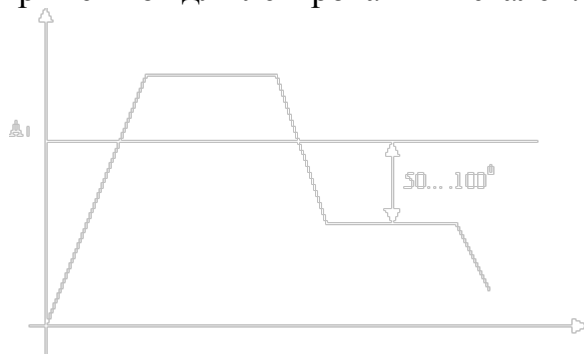


Рис. 13.5. Режимы изотермического отжига

5. *Нормализация*. – разновидность отжига.

Термическая обработка, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния, на $30...50^{\circ}\text{C}$ выше A_3 или A_{cm} с последующим охлаждением на воздухе.

$$T_{\text{н}} = A_3 + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

или

$$T_{\text{н}} = A_{cm} + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

В результате нормализации получают более тонкое строение эвтектоида (тонкий перлит или сорбит), уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки,

полученные в процессе предшествующей обработки. Твердость и прочность несколько выше чем после отжига.

В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет грубую сетку вторичного цементита.

Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Иногда проводят как окончательную обработку, например, при изготовлении сортового проката.

Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига.

Для среднеуглеродистых сталей нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки с высоким отпуском. В этом случае механические свойства несколько ниже, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

Лекция 14

Технологические особенности и возможности закалки и отпуска

1. [Закалка](#)
2. [Способы закалки](#)
3. [Отпуск](#)
4. [Отпускная хрупкость](#)

Закалка

Конструкционные стали подвергают закалке и отпуску для повышения прочности и твердости, получения высокой пластичности, вязкости и высокой износостойкости, а инструментальные – для повышения твердости и износостойкости.

Верхний предел температур нагрева для заэвтектоидных сталей ограничивается, так как приводит к росту зерна, что снижает прочность и сопротивление хрупкому разрушению.

Основными параметрами являются температура нагрева и скорость охлаждения. Продолжительность нагрева зависит от нагревательного устройства, по опытным данным на 1 мм сечения затрачивается: в электрической печи – 1,5...2 мин.; в пламенной печи – 1 мин.; в соляной ванне – 0,5 мин.; в свинцовой ванне – 0,1...0,15 мин.

По температуре нагрева различают виды закалки:

– *полная*, с температурой нагрева на 30...50°C выше критической температуры A_3

$$T_n = A_3 + (30...50)^\circ C .$$

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



– неполная с температурой нагрева на 30...50 °С выше критической температуры A_1

$$T_z = A_1 + (30...50)^\circ\text{C}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После охлаждения в структуре остается вторичный цементит, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента.

После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубоигольчатого мартенсита.

Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

Охлаждение при закалке.

Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали.

Режим охлаждения должен исключить возникновение больших закалочных напряжений. При высоких скоростях охлаждения при закалке возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению и растрескиванию.

Внутренние напряжения, уравниваемые в пределах макроскопических частей тела, называются напряжениями I рода. Они ответственны за искажение формы (коробление) и образование трещин при термообработке. Причинами возникновения напряжений являются:

- различие температуры по сечению изделия при охлаждении;
- разновременное протекание фазовых превращений в разных участках изделия.

Для предупреждения образования трещин необходимо избегать растягивающих напряжений в поверхностных слоях изделия. На характер распределения напряжений при закалке, помимо режима охлаждения, оказывает влияние и температура нагрева под закалку. Перегрев содействует образованию закалочных трещин, увеличивает деформации.

Режим охлаждения должен также обеспечить необходимую глубину закаленного слоя.

Оптимальный режим охлаждения: максимальная скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M_H$, для предотвращения распада переохлажденного аустенита в области перлитного превращения, и минимальная скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения $M_H - M_K$, с целью снижения остаточных напряжений и возможности образования трещин. Очень медленное охлаждение может привести к частичному отпуску мартенсита и увеличению количества аустенита остаточного, а следовательно к снижению твердости.

В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду при различных температурах, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы.

Вода имеет существенный недостаток: высокая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения приводит к образованию закалочных дефектов. С повышением температуры воды ухудшается ее закалочная способность.

Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8...12 %-ные водные растворы $NaCl$ и $NaOH$. Они мгновенно разрушают паровую рубашку и охлаждение происходит более равномерно и на стадии пузырькового кипения.

Увеличения охлаждающей способности достигают при использовании струйного или душевого охлаждения, например, при поверхностной закалке.

Для легированных сталей с высокой устойчивостью аустенита используют минеральное масло (нефтяное). Обеспечивающее небольшую скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения и постоянство закалывающей способности. Недостатками минеральных масел являются повышенная воспламеняемость, низкая охлаждающая способность в интервале температур перлитного превращения, высокая стоимость.

При выборе охлаждающей среды необходимо учитывать *закалываемость* и *прокалываемость* стали.

Закалываемость – способность стали приобретать высокую твердость при закалке.

Закалываемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закалываются.

Прокалываемость – способность получать закаленный слой с мартенситной и троосто-мартенситной структурой, обладающей высокой твердостью, на определенную глубину.

За глубину закаленной зоны принимают расстояние от поверхности до середины слоя, где в структуре одинаковые объемы мартенсита и троостита.

Чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокалываемость. Укрупнение зерен повышает прокалываемость.

Если скорость охлаждения в сердцевине изделия превышает критическую то сталь имеет сквозную прокалываемость.

Нерастворимые частицы и неоднородность аустенита уменьшают прокалываемость.

Характеристикой прокалываемости является *критический диаметр*.

Критический диаметр – максимальное сечение, прокалывающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия.

С введением в сталь легирующих элементов закалываемость и прокалываемость увеличиваются (особенно молибден и бор, кобальт – наоборот).

Способы закалки

В зависимости от формы изделия, марки стали и нужного комплекса свойств применяют различные способы охлаждения (рис. 14.1)

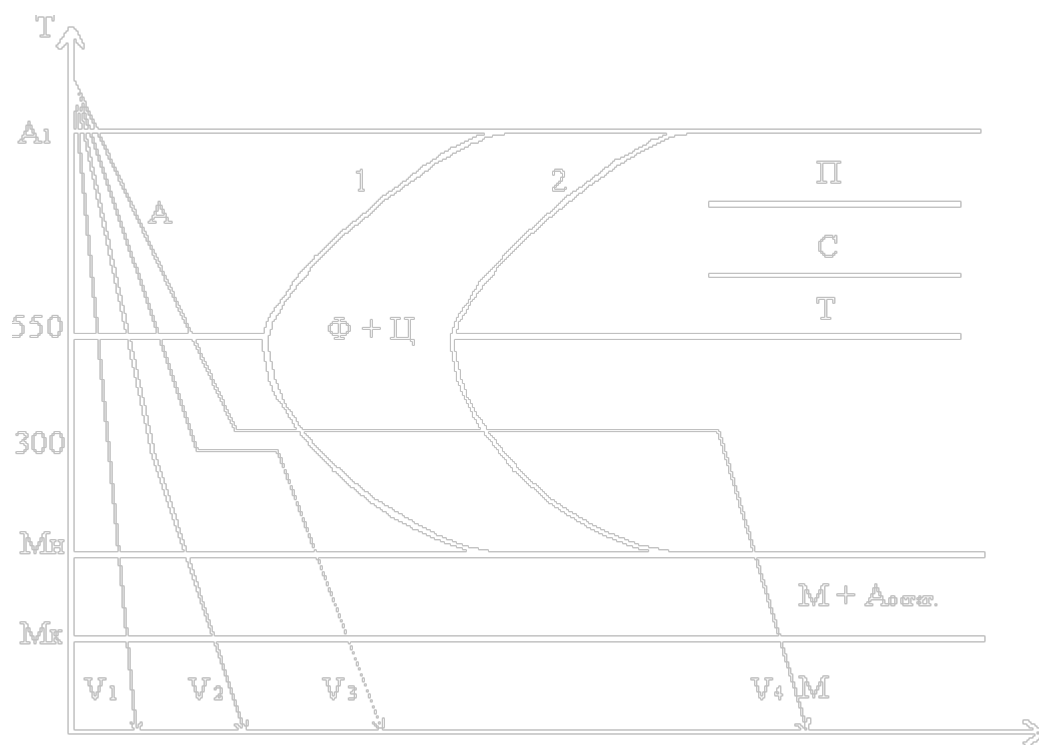


Рис.14.1. Режимы закалки

1. Закалка в одном охладителе (V_1).

Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют:

- воду – для крупных изделий из углеродистых сталей;
- масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей.

Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

2. Закалка в двух сферах или прерывистая (V_2).

Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^\circ\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло).

Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения.

Применяется в основном для закалки инструментов.

Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

3. Ступенчатая закалка (V_3).

Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30 - 50^\circ\text{C}$ выше точки M_H и выдерживают в течении времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению. Время изотермической выдержки не превышает периода устойчивости аустенита при заданной температуре.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью.

Способ используется для мелких и средних изделий.

4. Изотермическая закалка (V_4).

Отличается от ступенчатой закалки продолжительностью выдержки при температуре выше M_H , в области промежуточного превращения. Изотермическая

выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. При промежуточном превращении легированных сталей кроме бейнита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Образовавшаяся структура характеризуется сочетанием высокой прочности, пластичности и вязкости. Вместе с этим снижается деформация из-за закалочных напряжений, уменьшаются и фазовые напряжения.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи.

Применяются для легированных сталей.

5. Закалка с самоотпуском.

Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения. После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск. Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: мототки, зубила).

Отпуск

Отпуск является окончательной термической обработкой.

Целью отпуска является повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей.

С повышением температуры нагрева прочность обычно снижается, а пластичность и вязкость растут. Температуру отпуска выбирают, исходя из требуемой прочности конкретной детали.

Различают три вида отпуска:

1. *Низкий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 150...300^\circ\text{C}$.

В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – *мартенсит отпуска*.

Проводят для инструментальных сталей; после закалки токами высокой частоты; после цементации.

2. *Средний отпуск* с температурой нагрева $T_n = 300...450^\circ\text{C}$.

Получают структуру – *троостит отпуска*, сочетающую высокую твердость 40...45HRC с хорошей упругостью и вязкостью.

Используется для изделий типа пружин, рессор.

3. *Высокий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 450...650^\circ\text{C}$.

Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) – *сорбит отпуска*.

Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Комплекс термической обработки, включающий закалку и высокий отпуск, называется *улучшением*.

Отпускная хрупкость

Обычно с повышением температуры отпуска ударная вязкость увеличивается, а скорость охлаждения не влияет на свойства. Но для некоторых сталей наблюдается

снижение ударной вязкости. Этот дефект называется *отпускной хрупкостью* (рис. 14.2).

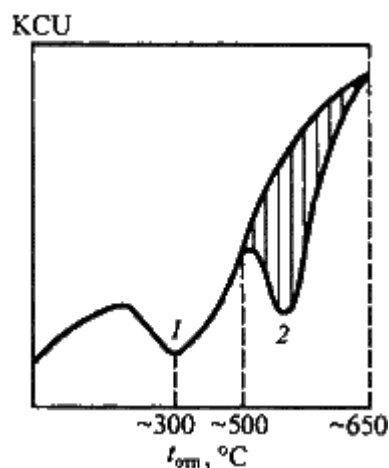


Рис.14.2. Зависимость ударной вязкости от температуры отпуска

Отпускная хрупкость I рода наблюдается при отпуске в области температур около 300°C. Она не зависит от скорости охлаждения.

Это явление связано с неравномерностью превращения опущенного мартенсита. Процесс протекает быстрее вблизи границ зерен по сравнению с объемами внутри зерна. У границ наблюдается концентрация напряжений, поэтому границы хрупкие.

Отпускная хрупкость I рода “необратима“, то есть при повторных нагревах тех же деталей не наблюдается.

Отпускная хрупкость II рода наблюдается у легированных сталей при медленном охлаждении после отпуска в области 450...650°C.

При высоком отпуске по границам зерен происходит образование и выделение дисперсных включений карбидов. Приграничная зона обедняется легирующими элементами. При последующем медленном охлаждении происходит диффузия фосфора к границам зерна. Приграничные зоны обогащаются фосфором, снижаются прочность и ударная вязкость. Этому дефекту способствуют хром, марганец и фосфор. Уменьшают склонность к отпускной хрупкости II рода молибден и вольфрам, а также быстрое охлаждение после отпуска.

Отпускная хрупкость II рода “обратима“, то есть при повторных нагревах и медленном охлаждении тех же сталей в опасном интервале температур дефект может повториться.

Стали, склонные к отпускной хрупкости II рода, нельзя использовать для работы с нагревом до 650°C без последующего быстрого охлаждения.

Лекция 15

Химико-термическая обработка стали: цементация, азотирование, нитроцементация и диффузионная металлизация

1. [Химико-термическая обработка стали](#)
2. [Назначение и технология видов химико-термической обработки: цементации, азотирования нитроцементации и диффузионной металлизации](#)

3. Цементация
4. Цементация в твердом карбюризаторе.
5. Газовая цементация.
6. Структура цементованного слоя
7. Термическая обработка после цементации
8. Азотирование
9. Цианирование и нитроцементация
10. Диффузионная металлизация

Химико-термическая обработка стали

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя детали.

Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате их взаимодействия с окружающей средой (твердой, жидкой, газообразной, плазменной), в которой осуществляется нагрев.

В результате изменения химического состава поверхностного слоя изменяются его фазовый состав и микроструктура,

Основными параметрами химико-термической обработки являются температура нагрева и продолжительность выдержки.

В основе любой разновидности химико-термической обработки лежат процессы *диссоциации, адсорбции, диффузии*.

Диссоциация – получение насыщающего элемента в активированном атомарном состоянии в результате химических реакций, а также испарения.

Например,



Адсорбция – захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента.

Адсорбция – всегда экзотермический процесс, приводящий к уменьшению свободной энергии.

Диффузия – перемещение адсорбированных атомов вглубь изделия.

Для осуществления процессов адсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения.

Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей.

Основными разновидностями химико-термической обработки являются:

- цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом);
- азотирование (насыщение поверхностного слоя азотом);
- нитроцементация или цианирование (насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом);
- диффузионная металлизация (насыщение поверхностного слоя различными металлами).

Назначение и технология видов химико-термической обработки: цементации, азотирования нитроцементации и диффузионной металлизации

Цементация

Цементация – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры 900...950 °С.

Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25 %).

Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод. Подобранные режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины.

Глубина цементации (h) – расстояние от поверхности изделия до середины зоны, где в структуре имеются одинаковые объемы феррита и перлита ($h = 1...2$ мм).

Степень цементации – среднее содержание углерода в поверхностном слое (обычно, не более 1,2 %).

Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость.

На практике применяют цементацию в твердом и газовом карбюризаторе (науглероживающей среде).

Участки деталей, которые не подвергаются цементации, предварительно покрываются медью (электролитическим способом) или глиняной смесью.

Цементация в твердом карбюризаторе.

Почти готовые изделия, с припуском под шлифование, укладывают в металлические ящики и пересыпают твердым карбюризатором. Используется древесный уголь с добавками углекислых солей $BaCO_3$, Na_2CO_3 в количестве 10...40 %. Закрытые ящики укладывают в печь и выдерживают при температуре 930...950 °С.

За счет кислорода воздуха происходит неполное сгорание угля с образованием окиси углерода (СО), которая разлагается с образованием атомарного углерода по реакции:



Образующиеся атомы углерода адсорбируются поверхностью изделий и диффундируют вглубь металла.

Недостатками данного способа являются:

- значительные затраты времени (для цементации на глубину 0,1 мм затрачивается 1 час);
- низкая производительность процесса;
- громоздкое оборудование;
- сложность автоматизации процесса.

Способ применяется в мелкосерийном производстве.

Газовая цементация.

Процесс осуществляется в печах с герметической камерой, наполненной газовым карбюризатором.

Атмосфера углеродосодержащих газов включает азот, водород, водяные пары, которые образуют газ-носитель, а также окись углерода, метан и другие углеводороды, которые являются активными газами.

Глубина цементации определяется температурой нагрева и временем выдержки.

Преимущества способа:

- возможность получения заданной концентрации углерода в слое (можно регулировать содержание углерода, изменяя соотношение составляющих атмосферу газов);
- сокращение длительности процесса за счет упрощения последующей термической обработки;
- возможность полной механизации и автоматизации процесса.

Способ применяется в серийном и массовом производстве.

Структура цементованного слоя

Структура цементованного слоя представлена на рис. 15.1.



Рис. 15.1. Структура цементованного слоя

На поверхности изделия образуется слой заэвтектоидной стали, состоящий из перлита и цементита. По мере удаления от поверхности, содержание углерода снижается и следующая зона состоит только из перлита. Затем появляются зерна феррита, их количество, по мере удаления от поверхности увеличивается. И, наконец, структура становится отвечающей исходному составу.

Термическая обработка после цементации

В результате цементации достигается только выгодное распределение углерода по сечению. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая термообработка. Все изделия подвергают закалке с низким отпуском. После закалки цементованное изделие приобретает высокую твердость и износостойкость, повышается предел контактной выносливости и предел выносливости при изгибе, при сохранении вязкой сердцевины.

Комплекс термической обработки зависит от материала и назначения изделия.

Графики различных комплексов термической обработки представлены на рис. 15.2.

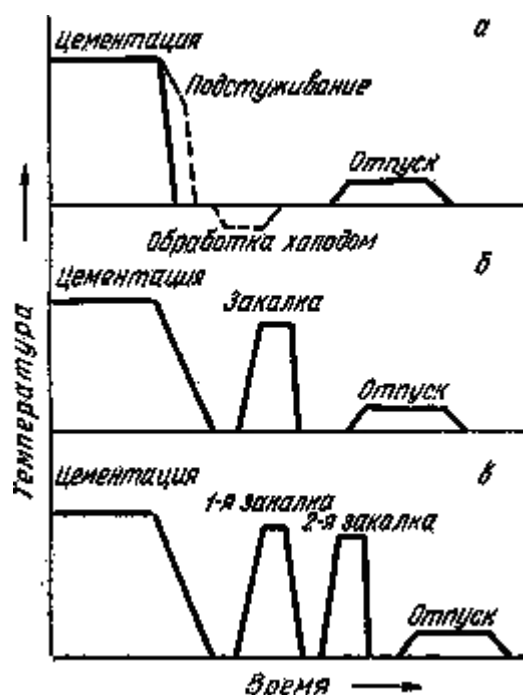


Рис. 15.2. Режимы термической обработки цементованных изделий

Если сталь наследственно мелкозернистая или изделия неответственного назначения, то проводят однократную закалку с температуры $820...850^{\circ}\text{C}$ (рис. 15.2 б). При этом обеспечивается получение высокоуглеродистого мартенсита в цементованном слое, а также частичная перекристаллизация и измельчение зерна сердцевинны.

При газовой цементации изделия по окончании процесса подстуживают до этих температур, а затем проводят закалку (не требуется повторный нагрев под закалку) (рис. 15.2 а).

Для удовлетворения особо высоких требований, предъявляемых к механическим свойствам цементованных деталей, применяют двойную закалку (рис. 15.2 в).

Первая закалка (или нормализация) проводится с температуры $880...900^{\circ}\text{C}$ для исправления структуры сердцевинны.

Вторая закалка проводится с температуры $760...780^{\circ}\text{C}$ для получения мелкоигольчатого мартенсита в поверхностном слое.

Завершающей операцией термической обработки всегда является низкий отпуск, проводимый при температуре $150...180^{\circ}\text{C}$. В результате отпуска в поверхностном слое получают структуру мартенсита отпуска, частично снимаются напряжения.

Цементации подвергают зубчатые колеса, поршневые кольца, червяки, оси, ролики.

Азотирование

Азотирование – химико-термическая обработка, при которой поверхностные слои насыщаются азотом.

Впервые азотирование осуществил Чижевский И.П., промышленное применение – в двадцатые годы.

При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость.

При азотировании изделия загружают в герметичные печи, куда поступает аммиак NH_3 с определенной скоростью. При нагреве аммиак диссоциирует по реакции: $2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2$. Атомарный азот поглощается поверхностью и диффундирует вглубь изделия.

Фазы, получающиеся в азотированном слое углеродистых сталей, не обеспечивают высокой твердости, и образующийся слой хрупкий.

Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан. Нитриды этих элементов дисперсны и обладают высокой твердостью и термической устойчивостью.

Типовые азотируемые стали: *38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ*.

Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от ряда факторов, из которых основные: температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали.

В зависимости от условий работы деталей различают азотирование:

- для повышения поверхностной твердости и износостойкости;
- для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное азотирование).

В первом случае процесс проводят при температуре $500...560^\circ C$ в течение $24...90$ часов, так как скорость азотирования составляет $0,01$ мм/ч. Содержание азота в поверхностном слое составляет $10...12$ %, толщина слоя (h) – $0,3...0,6$ мм. На поверхности получают твердость около 1000 НВ. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака.

Значительное сокращение времени азотирования достигается при ионном азотировании, когда между катодом (деталью) и анодом (контейнерной установкой) возбуждается тлеющий разряд. Происходит ионизация азотосодержащего газа, и ионы бомбардируя поверхность катода, нагревают его до температуры насыщения. Катодное распыление осуществляется в течение $5...60$ мин при напряжении $1100...1400$ В и давлении $0,1...0,2$ мм рт. ст., рабочее напряжение $400...1100$ В, продолжительность процесса до 24 часов.

Антикоррозионное азотирование проводят и для легированных, и для углеродистых сталей. Температура проведения азотирования – $650...700^\circ C$, продолжительность процесса – 10 часов. На поверхности образуется слой ϵ — фазы толщиной $0,01...0,03$ мм, который обладает высокой стойкостью против коррозии. (ϵ – фаза – твердый раствор на основе нитрида железа Fe_3N , имеющий гексагональную решетку).

Азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную механическую и термическую обработку (закалка с высоким отпуском).

После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

Цианирование и нитроцементация

Цианирование – химико-термическая обработка, при которой поверхность насыщается одновременно углеродом и азотом.

Осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например NaCN с добавками солей NaCl , BaCl и др. При окислении цианистого натрия образуется атомарный азот и окись углерода:



Глубина слоя и концентрация в нем углерода и азота зависят от температуры процесса и его продолжительности.

Цианированный слой обладает высокой твердостью 58...62 HRC и хорошо сопротивляется износу. Повышаются усталостная прочность и коррозионная стойкость.

Продолжительности процесса 0,5...2 часа.

Высокотемпературное цианирование – проводится при температуре 800...950°C, сопровождается преимущественным насыщением стали углеродом до 0,6...1,2 %, (жидкостная цементация). Содержание азота в цианированном слое 0,2...0,6 %, толщина слоя 0,15...2 мм. После цианирования изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. Окончательная структура цианированного слоя состоит из тонкого слоя карбонитридов $\text{Fe}_2(\text{C}, \text{N})$, а затем азотистый мартенсит.

По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивает большую твердость и сопротивление износу.

Низкотемпературное цианирование – проводится при температуре 540...600°C, сопровождается преимущественным насыщением стали азотом

Проводится для инструментов из быстрорежущих, высокохромистых сталей, является окончательной обработкой.

Основным недостатком цианирования является ядовитость цианистых солей.

Нитроцементация – газовое цианирование, осуществляется в газовых смесях из цементующего газа и диссоциированного аммиака.

Состав газа температура процесса определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Глубина слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки.

Высокотемпературная нитроцементация проводится при температуре 830...950°C, для машиностроительных деталей из углеродистых и малолегированных сталей при повышенном содержании аммиака. Завершающей термической обработкой является закалка с низким отпуском. Твердость достигает 56...62 HRC.

На ВАЗе 95 % деталей подвергаются нитроцементации.

Низкотемпературной нитроцементации подвергают инструмент из быстрорежущей стали после термической обработки (закалки и отпуска). Процесс проводят при температуре 530...570°C, в течение 1,5...3 часов. Образуется поверхностный слой толщиной 0,02...0,004 мм с твердостью 900...1200 HV.

Нитроцементация характеризуется безопасностью в работе, низкой стоимостью.

Диффузионная металлизация

Диффузионная металлизация – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами: алюминием, хромом, кремнием, бором и др.

При насыщении хромом процесс называют *хромированием*, алюминием – *алитированием*, кремнием – *силицированием*, бором – *борированием*.

Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

При *твердой диффузионной металлизации* металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl_2 образуется соединение хлора с металлом ($AlCl_3$, $CrCl_2$, $SiCl_4$), которые при контакте с поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

Жидкая диффузионная металлизация проводится погружением детали в расплавленный металл (например, алюминий).

Газовая диффузионная металлизация проводится в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Диффузия металлов протекает очень медленно, так как образуются растворы замещения, поэтому при одинаковых температурах диффузионные слои в десятки и сотни раз тоньше, чем при цементации.

Диффузионная металлизация – процесс дорогостоящий, осуществляется при высоких температурах ($1000...1200^\circ C$) в течение длительного времени.

Одним из основных свойств металлизированных поверхностей является жаростойкость, поэтому жаростойкие детали для рабочих температур $1000...1200^\circ C$ изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

Исключительно высокой твердостью (2000 HV) и высоким сопротивлением износу из-за образования боридов железа (FeB , FeB_2) характеризуются борированные слои, но эти слои очень хрупкие.

Лекция 16

Методы упрочнения металла.

1. [Термомеханическая обработка стали](#)
2. [Поверхностное упрочнение стальных деталей](#)
3. [Закалка токами высокой частоты.](#)
4. [Газопламенная закалка.](#)
5. [Старение](#)
6. [Обработка стали холодом](#)
7. [Упрочнение методом пластической деформации](#)

Термомеханическая обработка стали

Одним из технологических процессов упрочняющей обработки является *термомеханическая обработка (ТМО)*.

Термомеханическая обработка относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов.

При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка (закалка предварительно деформированной стали в аустенитном состоянии).

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются

незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке (рис. 16.1 а).

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладоломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

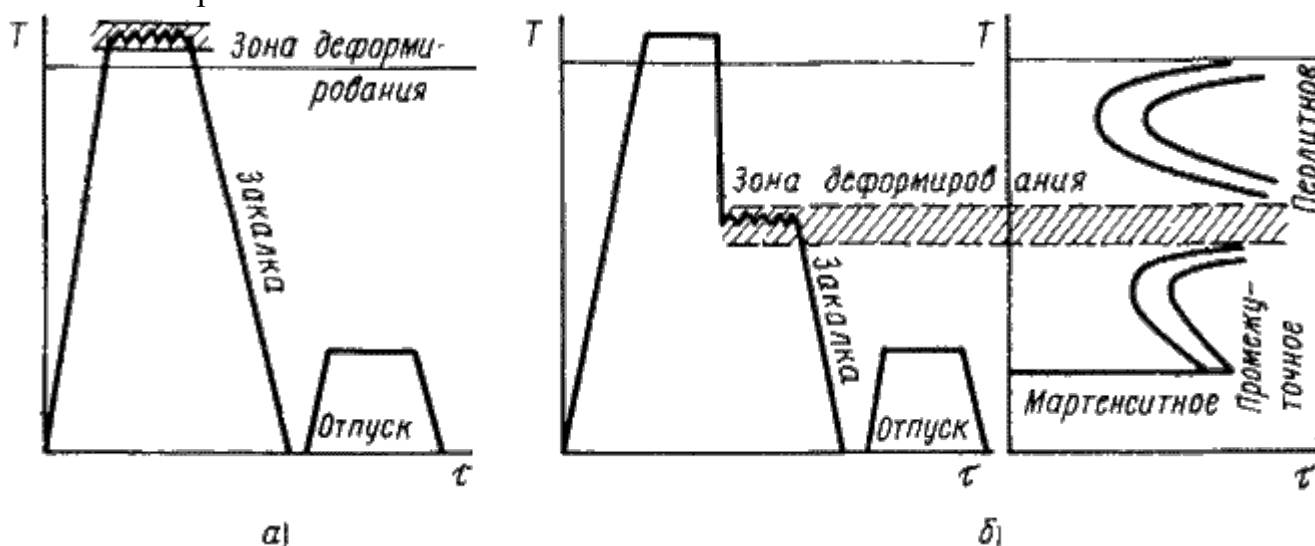


Рис. 16.1. Схема режимов термомеханической обработки стали: а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО); б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).

Высокотемпературную термомеханическую обработку эффективно использовать для углеродистых, легированных, конструкционных, пружинных и инструментальных сталей.

Последующий отпуск при температуре 100...200°C проводится для сохранения высоких значений прочности.

Низкотемпературная термомеханическая обработка (аусформинг).

Сталь нагревают до аустенитного состояния. Затем выдерживают при высокой температуре, производят охлаждение до температуры, выше температуры начала мартенситного превращения (400...600°C), но ниже температуры рекристаллизации, и при этой температуре осуществляют обработку давлением и закалку (рис. 16.1 б).

Низкотемпературная термомеханическая обработка, хотя и дает более высокое упрочнение, но не снижает склонности стали к отпускной хрупкости. Кроме того, она требует высоких степеней деформации (75...95 %), поэтому требуется мощное оборудование.

Низкотемпературную термомеханическую обработку применяют к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит, которые имеют вторичную стабильность аустенита.

Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два – четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения.

Механические свойства после разных видов ТМО для машиностроительных сталей в среднем имеют следующие характеристики (см. табл. 16.1):

Таблица 16.1. Механические свойства сталей после ТМО

	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
НТМО	2400...2900	2000...2400	5...8	15...30
ВТМО	2100...2700	1900...2200	7...9	25... 40
ТО	1400	1100	2	3
				(сталь 40 после обычной закалки)

Термомеханическую обработку применяют и для других сплавов.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

Конструкционная прочность часто зависит от состояния материала в поверхностных слоях детали. Одним из способов поверхностного упрочнения стальных деталей является *поверхностная закалка*.

В результате поверхностной закалки увеличивается твердость поверхностных слоев изделия с одновременным повышением сопротивления истиранию и предела выносливости.

Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева.

Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газовой-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем.

Закалка токами высокой частоты.

Метод разработан советским ученым Вологдиным В.П.

Основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

Обычно используются машинные генераторы с частотой 50...15000 Гц и ламповые генераторы с частотой больше 10^6 Гц. Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

Индукторы изготавливаются из медных трубок, внутри которых циркулирует вода, благодаря чему они не нагреваются. Форма индуктора соответствует внешней форме изделия, при этом необходимо постоянство зазора между индуктором и поверхностью изделия.

Схема технологического процесса закалки ТВЧ представлена на рис. 16.2.

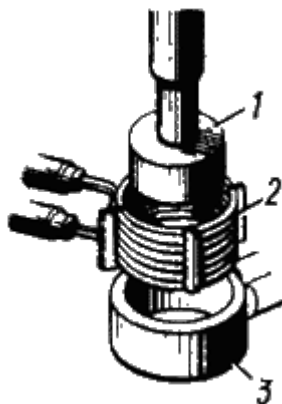


Рис. 16.2. Схема технологического процесса закалки ТВЧ

После нагрева в течение 3...5 с индуктора 2 деталь 1 быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер 3, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость.

Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве.

При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоигольчатого мартенсита. Твердость повышается на 2...4 HRC по сравнению с обычной закалкой, возрастает износостойкость и предел выносливости.

Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации, а после закалки низкому отпуску при температуре 150...200°C (самоотпуск).

Наиболее целесообразно использовать этот метод для изделий из сталей с содержанием углерода более 0,4 %.

Преимущества метода:

- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- более высокие механические свойства;
- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;
- возможность автоматизации процесса;
- использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;
- позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов.

Целесообразно использовать в серийном и массовом производстве.

Газопламенная закалка.

Нагрев осуществляется ацетиленокислородным, газокислородным или керсинокислородным пламенем с температурой 3000...3200°C.

Структура поверхностного слоя после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, твердость 50...56 HRC.

Метод применяется для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугуновых прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах.

При нагреве крупных изделий горелки и охлаждающие устройства перемещаются вдоль изделия, или – наоборот.

Недостатки метода:

- невысокая производительность;
- сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

Старение

Отпуск применяется к сплавам, которые подвергнуты закалке с полиморфным превращением.

К материалам, подвергнутым закалке без полиморфного превращения, применяется *старение*.

Закалка без полиморфного превращения – термическая обработка, фиксирующая при более низкой температуре состояние, свойственное сплаву при более высоких температурах (пересыщенный твердый раствор).

Старение – термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора.

В результате старения происходит изменение свойств закаленных сплавов.

В отличие от отпуска, после старения увеличиваются прочность и твердость, и уменьшается пластичность.

Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

В стареющих сплавах выделения из твердых растворов встречаются в следующих основных формах:

- тонкопластинчатой (дискообразной);
- равноосной (сферической или кубической);
- игольчатой.

Форма выделений определяется конкурирующими факторами: поверхностной энергией и энергией упругой деформации, стремящимися к минимуму.

Поверхностная энергия минимальна для равноосных выделений. Энергия упругих искажений минимальна для выделений в виде тонких пластин.

Основное назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств.

Различают старение естественное, искусственное и после пластической деформации.

Естественным старением называется самопроизвольное повышение прочности и уменьшение пластичности закаленного сплава, происходящее в процессе его выдержки при нормальной температуре.

Нагрев сплава увеличивает подвижность атомов, что ускоряет процесс.

Повышение прочности в процессе выдержки при повышенных температурах называется *искусственным старением*.

Предел прочности, предел текучести и твердость сплава с увеличением продолжительности старения возрастают, достигают максимума и затем снижаются (явление перестаривания)

При естественном старении перестаривания не происходит. С повышением температуры стадия перестаривания достигается раньше.

Если закаленный сплав, имеющий структуру пересыщенного твердого раствора, подвергнуть пластической деформации, то также ускоряются процессы, протекающие при старении – это *деформационное старение*.

Старение охватывает все процессы, происходящие в пересыщенном твердом растворе: процессы, подготавливающие выделение, и сами процессы выделения.

Для практики большое значение имеет инкубационный период – время, в течение которого в закаленном сплаве совершаются подготовительные процессы, когда сохраняется высокая пластичность. Это позволяет проводить холодную деформацию после закалки.

Если при старении происходят только процессы выделения, то явление называется *дисперсионным твердением*.

После старения повышается прочность и снижается пластичность низкоуглеродистых сталей в результате дисперсных выделений в феррите цементита третичного и нитридов.

Старение является основным способом упрочнения алюминиевых и медных сплавов, а также многих жаропрочных сплавов.

Обработка стали холодом

Высокоуглеродистые и многие легированные стали имеют температуру конца мартенситного превращения (M_k) ниже 0°C . Поэтому в структуре стали после закалки наблюдается значительное количество остаточного аустенита, который снижает твердость изделия, а также ухудшает магнитные характеристики. Для устранения аустенита остаточного проводят дополнительное охлаждение детали в области отрицательных температур, до температуры ниже $t. M_k$ ($- 80^\circ\text{C}$). Обычно для этого используют сухой лед.

Такая обработка называется *обработкой стали холодом*.

Обработку холодом необходимо проводить сразу после закалки, чтобы не допустить стабилизации аустенита. Увеличение твердости после обработки холодом обычно составляет 1...4 HRC.

После обработки холодом сталь подвергают низкому отпуску, так как обработка холодом не снижает внутренних напряжений.

Обработке холодом подвергают детали шарикоподшипников, точных механизмов, измерительные инструменты.

Упрочнение методом пластической деформации

Основное назначение методов механического упрочнения поверхности – повышение усталостной прочности.

Методы механического упрочнения – наклепывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм.

Разновидностями являются дробеструйная обработка и обработка роликами.

Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей.

Осуществляется с помощью специальных дробеструйных установок, выбрасывающих стальную или чугунную дробь на поверхность обрабатываемых деталей. Диаметр дроби – 0,2...4 мм. Удары дроби вызывают пластическую деформацию на глубину 0,2...0,4 мм.

Применяют для упрочнения деталей в канавках, на выступах. Подвергают изделия типа пружин, рессор, звенья цепей, гусениц, гильзы, поршни, зубчатые колеса.

При *обработке роликами* деформация осуществляется давлением ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия.

При усилиях на ролик, превышающих предел текучести обрабатываемого материала, происходит наклеп на нужную глубину. Обработка улучшает микрогеометрию. Создание остаточных напряжений сжатия повышает предел усталости и долговечность изделия.

Обкатка роликами применяется при обработке шеек валов, проволоки, при калибровке труб, прутков.

Не требуется специальное оборудование, можно использовать токарные или строгальные станки.

Лекция 17

Конструкционные материалы. Легированные стали.

1. [Конструкционные стали.](#)
2. [Легированные стали](#)
3. [Влияние элементов на полиморфизм железа](#)
4. [Влияние легирующих элементов на превращения в стали](#)
5. [Влияние легирующих элементов на превращение перлита в аустенит.](#)
6. [Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита.](#)
7. [Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение](#)
8. [Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске.](#)
9. [Классификация легированных сталей](#)

Конструкционные стали.

К конструкционным сталям, применяемым для изготовления разнообразных деталей машин, предъявляют следующие требования:

- сочетание высокой прочности и достаточной вязкости
- хорошие технологические свойства
- экономичность
- недефицитность

Высокая конструкционная прочность стали, достигается путем рационального выбора химического состава, режимов термической обработки, методов поверхностного упрочнения, улучшением металлургического качества.

Решающая роль в составе конструкционных сталей отводится углероду. Он увеличивает прочность стали, но снижает пластичность и вязкость, повышает порог хладоломкости. Поэтому его содержание регламентировано и редко превышает 0,6 %.

Влияние на конструкционную прочность оказывают легирующие элементы. Повышение конструкционной прочности при легировании связано с обеспечением высокой прокаливаемости, уменьшением критической скорости закалки, измельчением зерна.

Применение упрочняющей термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Металлургическое качество влияет на конструкционную прочность. Чистая сталь при одних и тех же прочностных свойствах имеет повышенные характеристики надежности.

Легированные стали

Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях с целью изменения ее строения и свойств, называются *легирующими элементами*, а стали – *легированными*.

Содержание легирующих элементов может изменяться в очень широких пределах: хром или никель – 1% и более процентов; ванадий, молибден, титан, ниобий – 0,1... 0,5%; также кремний и марганец – более 1 %. При содержании легирующих элементов до 0,1 % – микролегирование.

В конструкционных сталях легирование осуществляется с целью улучшения механических свойств (прочности, пластичности). Кроме того меняются физические, химические, эксплуатационные свойства.

Легирующие элементы повышают стоимость стали, поэтому их использование должно быть строго обоснованно.

Достоинства легированных сталей:

- особенности обнаруживаются в термически обработанном состоянии, поэтому изготавливаются детали, подвергаемые термической обработке;
- улучшенные легированные стали обнаруживают более высокие показатели сопротивления пластическим деформациям (σ_T);
- легирующие элементы стабилизируют аустенит, поэтому прокаливаемость легированных сталей выше;
- возможно использование более «мягких» охладителей (снижается брак по закалочным трещинам и короблению), так как тормозится распад аустенита;
- повышаются запас вязкости и сопротивление хладоломкости, что приводит к повышению надежности деталей машин.

Недостатки:

- подвержены обратной отпускной хрупкости II рода;

- в высоколегированных сталях после закалки остается аустенит остаточный, который снижает твердость и сопротивляемость усталости, поэтому требуется дополнительная обработка;
- склонны к дендритной ликвации, так как скорость диффузии легирующих элементов в железе мала. Дендриты обедняются, а границы – междендритный материал – обогащаются легирующим элементом. Образуется *строчечная структура* послековки и прокатки, неоднородность свойств вдоль и поперек деформирования, поэтому необходим диффузионный отжиг.
- склонны к образованию флокенов.

Флокены – светлые пятна в изломе в поперечном сечении – мелкие трещины с различной ориентацией. Причина их появления – выделение водорода, растворенного в стали.

При быстром охлаждении от 200° водород остается в стали, выделяясь из твердого раствора, вызывает большое внутреннее давление, приводящее к образованию флокенов.

Меры борьбы: уменьшение содержания водорода при выплавке и снижение скорости охлаждения в интервале флокенообразования.

Влияние элементов на полиморфизм железа

Все элементы, которые растворяются в железе, влияют на температурный интервал существования его аллотропических модификаций ($A_3 = 911^\circ\text{C}$, $A_4 = 1392^\circ\text{C}$).

В зависимости от расположения элементов в периодической системе и строения кристаллической решетки легирующего элемента возможны варианты взаимодействия легирующего элемента с железом. Им соответствуют и типы диаграмм состояния сплавов системы железо – легирующий элемент (рис. 17.1)

Большинство элементов или повышают A_4 и снижают A_3 , расширяя существовавшие γ -модификации (рис.17.1.а), или снижают A_4 и повышают A_3 , сужая область существования γ -модификации (рис.17.1.б).



Рис. 17.1. Схематические диаграммы состояния Fe – легирующий элемент. а – для элементов, расширяющих область существования γ -модификации; б – для элементов, сужающих область существования γ -модификации

Свыше определенного содержания марганца, никеля и других элементов, имеющих гранецентрированную кубическую решетку, γ -состояние существует

как стабильное от комнатной температуры до температуры плавления, такие сплавы на основе железа называются аустенитными.

При содержании ванадия, молибдена, кремния и других элементов, имеющих объемно-центрированную кубическую решетку. выше определенного предела устойчивым при всех температурах является α -состояние. Такие сплавы на основе железа называются ферритными.

Аустенитные и ферритные сплавы не имеют превращений при нагреве и охлаждении.

Влияние легирующих элементов на превращения в стали

Влияние легирующих элементов на превращение перлита в аустенит.

Легирующие элементы в большинстве случаев растворяются в аустените, образуя твердые растворы замещения. Легированные стали требуют более высоких температур нагрева и более длительной выдержки для получения однородного аустенита, в котором растворяются карбиды легирующих элементов.

Малая склонность к росту аустенитного зерна – технологическое преимущество большинства легированных сталей. Все легирующие элементы снижают склонность аустенитного зерна к росту, кроме марганца и бора. Элементы, не образующие карбидов (кремний, кобальт, медь, никель), слабо влияют на рост зерна. Карбидообразующие элементы (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан) сильно измельчают зерно.

Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита.

По влиянию на устойчивость аустенита и на форму С-образных кривых легирующие элементы разделяются на две группы.

Элементы, которые растворяются в феррите и цементите (кобальт, кремний, алюминий, медь, никель), оказывают только количественное влияние на процессы превращения. Замедляют превращение (большинство элементов), или ускоряют его (кобальт) (рис.17.2 а)

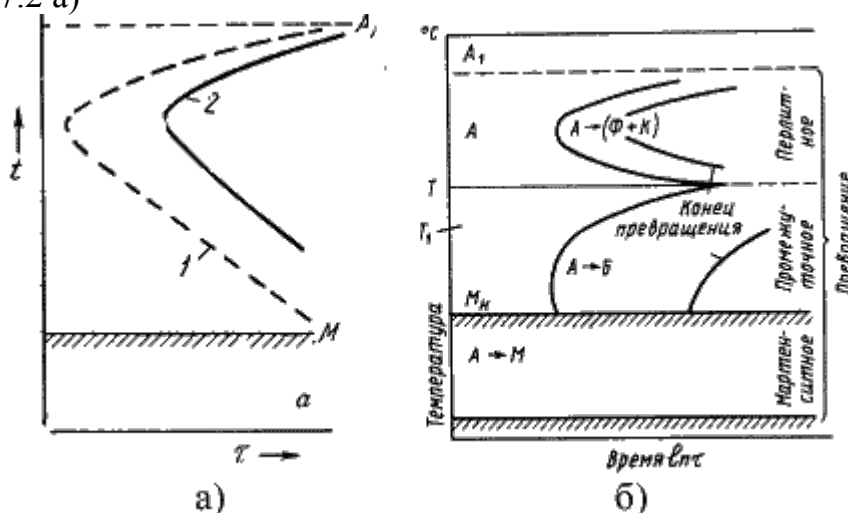


Рис 17.2. Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита: а – некарбидообразующие элементы; б — карбидообразующие элементы

Карбидообразующие элементы (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан) вносят и качественные изменения в кинетику изотермического превращения. При разных температурах они по разному влияют на скорость распада аустенита: при температуре 700...500°C — замедляют превращение в перлитной области, при температуре 500...400°C (образование троостита) – очень сильно замедляют превращение, при температуре 400...300°C (промежуточное превращение) – замедляет превращение аустенита в бейнит, но меньше, чем образование троостита. Это отражается на форме С-образных кривых: наблюдаются два максимума скорости изотермического распада, разделенных областью высокой устойчивости переохлажденного аустенита (рис. 17.2 б)

Температура максимальной устойчивости аустенита зависит от карбидообразующего элемента: хром – 400...500°C, вольфрам – 500...550°C, молибден – 550...575°C, ванадий – 575...600°C. Время максимальной устойчивости при заданной температуре возрастает с увеличением степени легированности (очень велико для высоколегированных сталей).

Важным является замедление скорости распада. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении (масло, воздух). Увеличивают прокаливаемость хром, никель, молибден, марганец, особенно при совместном легировании

Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение

При нагреве большинство легирующих элементов растворяются в аустените. Карбиды титана и ниобия не растворяются. Эти карбиды тормозят рост аустенитного зерна при нагреве и обеспечивают получение мелкоигольчатого мартенсита при закалке. Остальные карбидообразующие элементы, а также некарбидообразующие, при нагреве растворяются в аустените и при закалке образуют *легированный мартенсит*.

Некоторые легирующие элементы (алюминий, кобальт) повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита, другие не влияют на эту точку (кремний). Большинство элементов снижают мартенситную точку и увеличивают количество остаточного аустенита.

Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске.

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита: никель, марганец – незначительно; хром, молибден, кремний – заметно. Это связано с тем, что процессы при отпуске имеют диффузионный характер, а большинство элементов замедляют карбидное превращение. Легированные стали сохраняют структуру мартенсита отпуска до температуры 400...500°C. Так как в легированных сталях сохраняется значительное количество остаточного аустенита, то превращение его в мартенсит отпуска способствует сохранению твердости до высоких температур.

Таким образом, легированные стали при отпуске нагревают до более высоких температур или увеличивают выдержку.

Классификация легированных сталей

Стали классифицируются по нескольким признакам.

1. По структуре после охлаждения на воздухе выделяются три основных класса сталей:

- перлитный;
- мартенситный;
- аустенитный

Стали перлитного класса характеризуются малым содержанием легирующих элементов; мартенситного – более значительным содержанием; аустенитного – высоким содержанием легирующих элементов.

Классификация связана с кинетикой распада аустенита. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей различных классов представлены на рис. 17.3

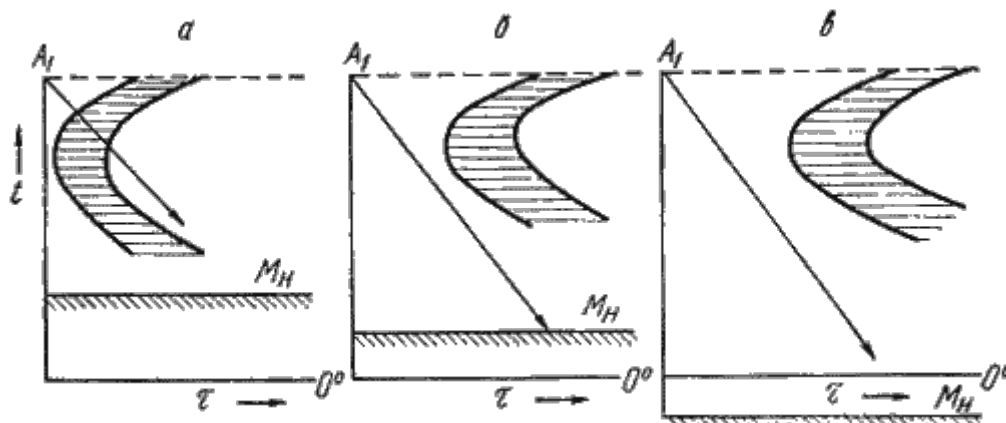


Рис.17.3. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей перлитного (а), мартенситного (б) и аустенитного (в) классов

По мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения снижается.

Для сталей перлитного класса кривая скорости охлаждения на воздухе пересекает область перлитного распада (рис. 17.3.а), поэтому образуются структуры перлита, сорбита или троостита.

Для сталей мартенситного класса область перлитного распада сдвинута вправо (рис.17.3 б). Охлаждение на воздухе не приводит к превращению в перлитной области. Аустенит переохлаждается до температуры мартенситного превращения и происходит образование мартенсита.

Для сталей аустенитного класса увеличение содержания углерода и легирующих элементов сдвигает вправо область перлитного распада, а также снижает мартенситную точку, переводя ее в область отрицательных температур (рис. 17.3.в). Сталь охлаждается на воздухе до комнатной температуры, сохраняя аустенитное состояние.

2. По степени легирования (по содержанию легирующих элементов):

- низколегированные – 2,5...5 %;

- среднелегированные – до 10 %;
 - высоколегированные – более 10%.
3. По числу легирующих элементов:
- трехкомпонентные (железо, углерод, легирующий элемент);
 - четырехкомпонентные (железо, углерод, два легирующих элемента) и так далее.
4. По составу:
никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и так далее (признак– наличие тех или иных легирующих элементов).
5. По назначению:
- конструкционные;
 - инструментальные (режущие, мерительные, штамповые);
 - стали и сплавы с особыми свойствами (резко выраженные свойства – нержавеющие, жаропрочные и термоустойчивые, износостойчивые, с особыми магнитными и электрическими свойствами).

Лекция 18

Конструкционные стали. Классификация конструкционных сталей.

1. Классификация конструкционных сталей
2. Углеродистые стали.
3. Цементуемые и улучшаемые стали
4. Цементуемые стали.
5. Улучшаемые стали.
6. Высокопрочные, пружинные, шарикоподшипниковые, износостойкие и автоматные стали
7. Высокопрочные стали.
8. Пружинные стали.
9. Шарикоподшипниковые стали.
10. Стали для изделий, работающих при низких температурах
11. Износостойкие стали.
12. Автоматные стали.

Классификация конструкционных сталей

Машиностроительные стали предназначены для изготовления различных деталей машин и механизмов.

Они классифицируются:

- по химическому составу (углеродистые и легированные);
- по обработке (цементуемые, улучшаемые);
- по назначению (пружинные, шарикоподшипниковые).

Углеродистые стали.

Низкоуглеродистые стали 05 кп, 08, 10, 10 пс обладают малой прочностью высокой пластичностью. Применяются без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей – шайб, прокладок и т.п.

Среднеуглеродистые стали 35, 40, 45 применяются после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки.

В нормализованном состоянии по сравнению с низкоотпущенным обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения наблюдается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки обладают высокой поверхностной твердостью и сопротивлением износу.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75 используются как рессорно-пружинные после среднего отпуска. В нормализованном состоянии – для прокатных валков, шпинделей станков.

Достоинства углеродистых качественных сталей – дешевизна и технологичность. Но из-за малой прокаливаемости эти стали не обеспечивают требуемый комплекс механических свойств в деталях сечением более 20 мм.

Цементуемые и улучшаемые стали

Цементуемые стали.

Используются для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Детали должны сочетать высокую поверхностную прочность и твердость и достаточную вязкость сердцевины.

Цементации подвергаются низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25%, что позволяет получить вязкую сердцевину. Для деталей, работающих с большими нагрузками, применяются стали с повышенным содержанием углерода (до 0,35 %).

С повышением содержания углерода прочность сердцевины увеличивается, а вязкость снижается. Детали подвергаются цианированию и нитроцементации.

Цементуемые углеродистые стали 15, 20, 25 используются для изготовления деталей небольшого размера, работающих в условиях изнашивания при малых нагрузках (втулки, валики, оси, шпильки и др.). Твердость на поверхности составляет 60...64 HRC, сердцевина остается мягкой.

Цементуемые легированные стали применяют для более крупных и тяжело нагруженных деталей, в которых необходимо иметь, кроме высокой твердости поверхности, достаточно прочную сердцевину (кулачковые муфты, поршни, пальцы, втулки).

Хромистые стали 15X, 20X используются для изготовления небольших изделий простой формы, цементуемых на глубину $h = 1 \dots 1,5$ мм. При закалке с охлаждением в масле, выполняемой после цементации, сердцевина имеет бейнитное строение. Вследствие этого хромистые стали обладают более высокими прочностными свойствами при несколько меньшей пластичности в сердцевине и большей прочностью в цементованном слое.

Дополнительное легирование хромистых сталей ванадием (сталь 15XФ), способствует получению более мелкого зерна, что улучшает пластичность и вязкость.

Никель увеличивает глубину цементованного слоя, препятствует росту зерна и образованию грубой цементитной сетки, оказывает положительное влияние на свойства сердцевин. Хромоникелевые стали 20ХН, 12ХН3А применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих на износ при больших нагрузках (зубчатые колеса, шлицевые валы). Одновременное легирование хромом и никелем, который растворяется в феррите, увеличивает прочность, пластичность и вязкость сердцевин и цементованного слоя. Стали мало чувствительны к перегреву. Большая устойчивость переохлажденного аустенита в области перлитного и промежуточного превращений обеспечивает высокую прокаливаемость хромоникелевых сталей и позволяет проводить закалку крупных деталей с охлаждением в масле и на воздухе.

Стали, дополнительно легированные вольфрамом или молибденом (18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА), применяют для изготовления крупных тяжело нагруженных деталей. Эти стали являются лучшими конструкционными сталями, но дефицитность никеля ограничивает их применение.

Хромомарганцевые стали применяют вместо дорогих хромоникелевых, однако эти стали менее устойчивы к перегреву и имеют меньшую вязкость. Введение небольшого количества титана (0,06...0,12 %) уменьшает склонность стали к перегреву (стали 18ХГТ, 30ХГТ).

С целью повышения прочности применяют легирование бором (0,001...0,005 %) 20ХГР, но бор способствует росту зерна при нагреве.

Улучшаемые стали.

Стали, подвергаемые термическому улучшению, широко применяют для изготовления различных деталей, работающих в сложных напряженных условиях (при действии разнообразных нагрузок, в том числе переменных и динамических). Стали приобретают структуру сорбита, хорошо воспринимающую ударные нагрузки. Важное значение имеет сопротивление хрупкому разрушению.

Улучшению подвергаются среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,30...0,50 %.

Улучшаемые углеродистые стали 35, 40, 45 дешевы, из них изготавливают детали, испытывающие небольшие напряжения (сталь 35), и детали, требующие повышенной прочности (стали 40, 45). Но термическое улучшение этих сталей обеспечивает высокий комплекс механических свойств только в деталях небольшого сечения, так как стали обладают низкой прокаливаемостью. Стали этой группы можно использовать и в нормализованном состоянии.

Детали, требующие высокой поверхностной твердости при вязкой сердцевине (зубчатые колеса, валы, оси, втулки), подвергаются поверхностной закалке токами высокой частоты. Для снятия напряжений проводят низкий отпуск.

Улучшаемые легированные стали.

Улучшаемые легированные стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей. Стали обладают лучшим комплексом механических свойств: выше прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, ниже порог хладоломкости.

Хромистые стали 30Х, 40Х, 50Х используются для изготовления небольших средненагруженных деталей. Эти стали склонны к отпускной хрупкости, поэтому после высокого отпуска охлаждение должно быть быстрым.

Повышение прокаливаемости достигается микролегированием бором (35ХР). Введение в сталь ванадия значительно увеличивает вязкость (40ХФА).

Хромокремнистые (33ХС) и *хромокремниймарганцевые (хромансил)* (25ХГСА) стали обладают высокой прочностью и умеренной вязкостью. Стали хромансилы обладают высокой свариваемостью, из них изготавливают стыковочные сварные узлы, кронштейны, крепежные и другие детали. Широко применяются в автомобилестроении и авиации.

Хромоникелевые стали 45ХН, 30ХН3А отличаются хорошей прокаливаемостью, прочностью и вязкостью, но чувствительны к обратимой отпускной хрупкости. Для уменьшения чувствительности вводят молибден или вольфрам. Ванадий способствует измельчению зерна.

Стали 36Х2Н2МФА, 38ХН3ВА др. обладают лучшими свойствами, относятся к мартенситному классу, слабо разупрочняются при нагреве до 300...400 °С. из них изготавливаются валы и роторы турбин, тяжело нагруженные детали редукторов и компрессоров.

Высокопрочные, пружинные, шарикоподшипниковые, износостойкие и автоматные стали

Высокопрочные стали.

Высокопрочными называют стали, имеющие предел прочности более 1500 МПа, который достигается подбором химического состава и оптимальной термической обработки.

Такой уровень прочности можно получить в *среднеуглеродистых легированных сталях*, (30ХГСН2А, 40ХН2МА), применяя закалку с низким отпуском (при температуре 200...250°С) или изотермическую закалку с получением структуры нижнего бейнита.

После изотермической закалки среднеуглеродистые легированные стали имеют несколько меньшую прочность, но большую пластичность и вязкость. Поэтому они более надежны в работе, чем закаленные и низкоотпущенные.

При высоком уровне прочности закаленные и низкоотпущенные среднеуглеродистые стали обладают повышенной чувствительностью к концентраторам напряжения, склонностью к хрупкому разрушению, поэтому их рекомендуется использовать для работы в условиях плавного нагружения.

Легирование вольфрамом, молибденом, ванадием затрудняет разупрочняющие процессы при температуре 200...300 °С, способствует получению мелкого зерна, понижает порог хладоломкости, повышает сопротивление хрупкому разрушению.

Высокая прочность может быть получена и за счет термомеханической обработки.

Стали 30ХГСА, 38ХН3МА после низкотемпературной термомеханической обработки имеют предел прочности 2800 МПа, относительное удлинение и ударная вязкость увеличиваются в два раза по сравнению с обычной термической обработкой. Это связано с тем, что частичное выделение углерода из аустенита при

деформации облегчает подвижность дислокаций внутри кристаллов мартенсита, что способствует увеличению пластичности.

Мартенситно-старяющие стали (03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладоломкости при прочности около 2000 МПа.

Мартенситно-старяющие стали представляют собой безуглеродистые сплавы железа с никелем (8..25 %), дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. Благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и малой концентрации углерода в результате закалки в воде или на воздухе фиксируется высокопластичный, но низкопрочный железоникелевый мартенсит, пересыщенный легирующими элементами. Основное упрочнение происходит в процессе старения при температуре 450...550 °С за счет выделения из мартенситной матрицы когерентно с ней связанных мелкодисперсных фаз. Мартенситно-старяющие стали обладают высокой конструкционной прочностью в интервале температур от криогенных до 500 °С и рекомендуются для изготовления корпусов ракетных двигателей, стволов артиллерийского и стрелкового оружия, корпусов подводных лодок, батискафов, высоконагруженных дисков турбомашин, зубчатых колес, шпинделей, червяков и т.д.

Пружинные стали.

Пружины, рессоры и другие упругие элементы являются важнейшими деталями различных машин и механизмов. В работе они испытывают многократные переменные нагрузки. Под действием нагрузки пружины и рессоры упруго деформируются, а после прекращения действия нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму и размеры. Особенностью работы является то, что при значительных статических и ударных нагрузках они должны испытывать только упругую деформацию, остаточная деформация не допускается. Основные требования к пружинным сталям – обеспечение высоких значений пределов упругости, текучести, выносливости, а также необходимой пластичности и сопротивления хрупкому разрушению, стойкости к релаксации напряжений.

Пружины работают в области упругих деформаций, когда между действующим напряжением и деформацией наблюдается пропорциональность. При длительной работе пропорциональность нарушается из-за перехода части энергии упругой деформации в энергию пластической деформации. Напряжения при этом снижаются.

Самопроизвольное снижение напряжений при постоянной суммарной деформации называется *релаксацией напряжений*.

Релаксация приводит к снижению упругости и надежности работы пружин.

Пружины изготавливаются из углеродистых (65, 70) и легированных (60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР) конструкционных сталей.

Для упрочнения пружинных углеродистых сталей применяют холодную пластическую деформацию посредством дробеструйной и гидроабразивной обработок, в процессе которых в поверхностном слое деталей наводятся остаточные напряжения сжатия.

Повышенные значения предела упругости получают после закалки со средним отпуском при температуре 400...480 °С.

Для сталей, используемых для пружин, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость, чтобы получить структуру троостита по всему сечению.

Упругие и прочностные свойства пружинных сталей достигаются при изотермической закалке.

Пружинные стали легируют элементами, которые повышают предел упругости – кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом, ванадием, бором.

В целях повышения усталостной прочности не допускается обезуглероживание при нагреве под закалку и требуется высокое качество поверхности.

Пружины и другие элементы специального назначения изготавливают из высокохромистых мартенситных (30X13), мартенситно-старееющих (03X12H10D2T), аустенитных нержавеющей (12X18H10T), аустенито-мартенситных (09X15H8Ю), быстрорежущих (P18) и других сталей и сплавов.

Шарикоподшипниковые стали.

Подвергаются воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая прочность и износостойкость, высокий предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, немаetalлических включений, полостей, ликваций.

Шарикоподшипниковые стали характеризуются высоким содержанием углерода (около 1 %) и наличием хрома (ШХ9, ШХ15).

Высокое содержание углерода и хрома после закалки обеспечивает структуру мартенсит плюс карбиды, высокой твердости, износостойкости, необходимой прокаливаемости.

Дальнейшее увеличение прокаливаемости достигается дополнительным легированием марганцем, кремнием (ШХ15СГ).

Повышены требования в отношении чистоты и равномерности распределения карбидов, в противном случае может произойти выкрашивание. Стали подвергаются строгому металлургическому контролю на наличие пористости, немаetalлических включений, карбидной сетки, карбидной ликвации.

Термическая обработка включает отжиг, закалку и отпуск. Отжиг проводят послековки для снижения твердости и подготовки структуры к закалке. Температура закалки составляет 790...880 °С в зависимости от массивности деталей. Охлаждение – в масле (кольца, ролики), в водном растворе соды или соли (шарики). Отпуск стали проводят при температуре 150...170°С в течение 1...2 часов. Обеспечивается твердость 62...66 HRC.

Из стали ШХ9 изготавливают шарики и ролики небольших размеров, из стали ШХ15 – более крупные.

Детали подшипников качения, испытывающие большие динамические нагрузки (подшипники прокатных станов), изготавливают из сталей 20X2H4A и 18XГТ с последующей глубокой цементацией на глубину 5...10 мм. Для деталей подшипников, работающих в азотной кислоте и других агрессивных средах, используется сталь 95X18.

Стали для изделий, работающих при низких температурах

Для изделий, работающих при низких температурах, необходимо применять стали с пониженным порогом хладоломкости. Особенно сильно понижены температурные пороги хладоломкости в никельсодержащих сталях. Эффективными материалами являются низколегированные малоуглеродистые стали, которые обладают хорошей свариваемостью.

В строительных металлоконструкциях наибольший эффект достигается при использовании термомеханически упрочненного проката.

Для обеспечения высокого комплекса механических свойств деталей машин используются малоуглеродистые стали, легированные элементами способствующими дисперсионному упрочнению и образованию мелкозернистой структуры после термической обработки, 10ХСНД, 15Г2СФ, 12ГН2МФАЮ.

Для работы при сверх низких температурах применяют криогенные стали и сплавы для изготовления емкостей для хранения и перевозки сжиженных газов, имеющих очень низкую температуру кипения (кислород – -183 °С, водород – -253 °С). Основными материалами для работы в подобных условиях являются аустенитные стали с повышенным содержанием никеля 10Х14Г14Н4Т, 10Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6.

Износостойкие стали.

Для работы в условиях изнашивания, сопровождаемого большими удельными нагрузками используется высокомарганцевая сталь 110Г13Л, имеющая в своем составе 1...1,4% углерода, 12...14 % марганца. Сталь имеет аустенитную структуру и относительно низкую твердость (200...250 НВ). В процессе работы, когда на деталь действуют высокие нагрузки, которые вызывают в материале напряжения, превосходящие предел текучести, происходит интенсивное наклепывание стали и рост ее твердости и износостойкости. При этом сталь сохраняет высокую вязкость. Благодаря этим свойствам сталь широко используется для изготовления корпусов шаровых мельниц, щек камнедробилок, крестовин рельсов, гусеничных траков, козырьков землечерпалок и т.д.

Склонность к интенсивному наклепу является характерной особенностью сталей аустенитного класса.

Автоматные стали.

Автоматными называют стали, обладающие повышенной обрабатываемостью резанием.

Эффективным металлургическим приемом повышения обрабатываемости резанием является введение в сталь серы, селена, теллура, кальция, которые изменяют состав неметаллических включений, а также свинца, который образует собственные включения.

Автоматные стали А12, А20 с повышенным содержанием серы и фосфора используются для изготовления малонагруженных деталей на станках автоматах (болты, винты, гайки, мелкие детали швейных, текстильных, счетных и других машин). Эти стали обладают улучшенной обрабатываемостью резанием,

поверхность деталей получается чистой и ровной. Износостойкость может быть повышена цементацией и закалкой.

Стали А30 и А40Г предназначены для деталей, испытывающих более высокие нагрузки.

У автоматных сталей, содержащих свинец, (АС11, АС40), повышается стойкость инструмента в 1...3 раза и скорость резания на 25...50 %.

Легированные хромистые и хромоникелевые стали с присадкой свинца и кальция (АЦ45Г2, АСЦ30ХМ, АС20ХГНМ) используются для изготовления нагруженных деталей в автомобильной и тракторной промышленности.

Автоматные стали подвергают диффузионному отжигу при температуре 1100...1150°С, для устранения ликвации серы.

Лекция 19

Инструментальные стали

1. [Стали для режущего инструмента](#)
2. [Углеродистые инструментальные стали \(ГОСТ 1435\).](#)
3. [Легированные инструментальные стали](#)
4. [Быстрорежущие стали](#)
5. [Стали для измерительных инструментов](#)
6. [Штамповые стали](#)
7. [Стали для штампов холодного деформирования.](#)
8. [Стали для штампов горячего деформирования](#)
9. [Твердые сплавы](#)
10. [Алмаз как материал для изготовления инструментов](#)

Стали для режущего инструмента

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия).

Режущие кромки могут нагреваться до температуры 500...900°С, поэтому важным свойством является теплостойкость, т. е., способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве (красностойкость).

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435).

Содержат 0,65...1,35% углерода.

Стали У7...У13А – обладают высокой твердостью, хорошо шлифуются, дешевы и недефицитны.

Из сталей марок У7, У8А изготавливают инструмент для работы по дереву и инструмент ударного действия, когда требуется повышенная вязкость – пуансоны, зубила, штампы, молотки.

Стали марок У9...У12 обладают более высокой твердостью и износостойкостью – используются для изготовления сверл, метчиков, фрез.

Сталь У13 обладает максимальной твердостью, используется для изготовления напильников, граверного инструмента.

Для снижения твердости и создания благоприятной структуры, все инструментальные стали до изготовления инструмента подвергают отжигу.

Для заэвтектоидных сталей проводят сфероидизирующий отжиг, в результате которого цементит вторичный приобретает зернистую форму. Регулируя скорость охлаждения можно получить любой размер зерен.

Окончательная термическая обработка – закалка с последующим отпуском.

Закалку для доэвтектоидных сталей проводят полную, а для заэвтектоидных – неполную. Структура закаленных сталей или мартенсит, или мартенсит и карбиды.

Температура отпуска выбирается в зависимости от твердости, необходимой для инструмента.

Для инструментов ударного действия, требующих повышенной вязкости, из сталей У7, У8 отпуск проводят при температуре 280...300°C, что обеспечивает твердость HRC 56...58.

Для напильников, метчиков, плашек отпуск проводят при температуре 150...200°C, при этом обеспечивается получение максимальной твердости — HRC 62...64.

Основными недостатками углеродистых инструментальных сталей является их невысокая прокаливаемость (5...10 мм), низкая теплостойкость (до 200°C), то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания.

Легированные инструментальные стали

Содержат 0,9...1,4 % углерода. В качестве легирующих элементов содержат хром, вольфрам, ванадий, марганец, кремний и другие. Общее содержание легирующих элементов до 5%.

Высокая твердость и износостойкость в основном определяются высоким содержанием углерода. Легирование используется для повышения закаливаемости и прокаливаемости, сохранения мелкого зерна, повышения прочности и вязкости.

Термическая обработка включает закалку и отпуск.

Проводят закалку с температуры 800...850°C в масло или ступенчатую закалку, что уменьшает возможность коробления и образования закалочных трещин.

Отпуск проводят низкотемпературный, при температуре 150...200°C, что обеспечивает твердость HRC 61...66. Иногда, для увеличения вязкости, температуру отпуска увеличивают до 300°C, но при этом наблюдается снижение твердости HRC 55...60.

Для деревообрабатывающего инструмента из сталей 6ХС и 9ХФ рекомендуется изотермическая закалка, значительно улучшающая вязкость.

Повышенное содержание кремния (сталь 9ХС) способствует увеличению прокаливаемости до 40 мм и повышению устойчивости мартенсита при отпуске. Недостатками сталей, содержащих кремний, являются чувствительность их к обезуглероживанию при термообработке, плохая обрабатываемость резанием и деформированием из-за упрочнения феррита кремнием.

Повышенное содержание марганца (стали ХВГ, 9ХВСГ) способствует увеличению количества остаточного аустенита, что уменьшает деформацию

инструмента при закалке. Это особенно важно для инструмента, имеющего большую длину при малом диаметре, например, протяжек.

Хром увеличивает прокаливаемость и твердость после закалки.

Стали используются для изготовления инструмента и ударного, и режущего.

“Алмазная ” сталь ХВ5 содержит 5% вольфрама. Благодаря присутствию вольфрама, в термически обработанном состоянии имеет избыточную мелкодисперсную карбидную фазу. Твердость составляет HRC 65...67. Сталь используется для изготовления инструмента, сохраняющего длительное время острую режущую кромку и высокую размерную точность (развертки, фасонные резцы, граверный инструмент).

Быстрорежущие стали

Стали получили свое название за свойства. В следствии высокой теплостойкости (550...650°C), изготовленные из них инструменты могут работать с достаточно высокими скоростями резания.

Стали содержат 0,7...1,5 % углерода, до 18 % основного легирующего элемента – вольфрама, до 5 % хрома и молибдена, до 10 % кобальта

Добавление ванадия повышает износостойкость инструмента, но ухудшает шлифуемость. Кобальт повышает теплостойкость до 650°C и вторичную твердость HRC 67...70.

Микроструктура быстрорежущей стали в литом состоянии имеет эвтектическую структурную составляющую. Для получения оптимальных свойств инструментов из быстрорежущей стали необходимо по возможности устранить структурную неоднородность стали – карбидную ликвацию. Для этого слитки из быстрорежущей стали подвергаются интенсивной пластической деформации (ковке). При этом происходит дробление карбидов эвтектики и достигается более однородное распределение карбидов по сечению заготовки.

Затем проводят отжиг стали при температуре 860...900°C. Структура отожженной быстрорежущей стали – мелкозернистый (сорбитообразный) перлит и карбиды, мелкие эвтектоидные и более крупные первичные. Количество карбидов около 25 %. Сталь с такой структурой хорошо обрабатывается резанием. Подавляющее количество легирующих элементов находятся в карбидной фазе. Для получения оптимальных свойств стали в готовом инструменте необходимо при термической обработке обеспечить максимальное насыщение мартенсита легирующими элементами. При закалке быстрорежущие стали требуют нагрева до очень высоких температур, около 1280°C. Нагрев осуществляют в хорошо раскисленных соляных ваннах $BaCl_2$, что улучшает равномерность прогрева и снижает возможность обезуглероживания поверхности. Для снижения термических фазовых напряжений нагрев осуществляют ступенчато: замедляют нагрев при температурах 600...650°C и при 850...900°C. График режима термической обработки быстрорежущей стали представлен на рис. 19.1.

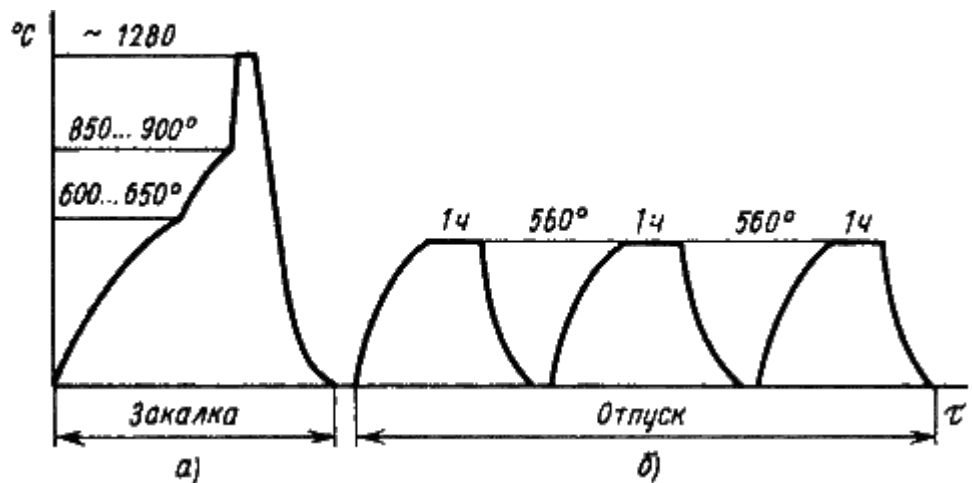


Рис.19.1. График режима термической обработки быстрорежущей стали

Охлаждение от закалочной температуры производится в масле. Структура стали после закалки состоит из легированного, очень тонкодисперсного мартенсита, значительного количества (30...40 %) остаточного аустенита и карбидов вольфрама. Твердость составляет 60...62 HRC. Наличие аустенита остаточного в структуре закаленной стали ухудшает режущие свойства.

Для максимального удаления аустенита остаточного проводят трехкратный отпуск при температуре 560°C. При нагреве под отпуск выше 400°C наблюдается увеличение твердости. Это объясняется тем, что из легированного остаточного аустенита выделяются легированные карбиды. Аустенит при охлаждении от температуры отпуска превращается в мартенсит отпуска, что вызывает прирост твердости. Увеличению твердости содействуют и выделившиеся при температуре отпуска мелкодисперсные карбиды легирующих элементов. Максимальная твердость достигается при температуре отпуска 560°C.

После однократного отпуска количество аустенита остаточного снижается до 10%. Чтобы уменьшить его количество до минимума, необходим трехкратный отпуск.

Твердость стали после отпуска составляет 64...65 HRC. Структура стали после термообработки состоит из мартенсита отпуска и карбидов.

При термической обработке быстрорежущих сталей применяют обработку холодом. После закалки сталь охлаждают до температуры — 80 ... — 100°C, после этого проводят однократный отпуск при температуре 560°C для снятия напряжений.

Иногда для повышения износостойкости быстрорежущих сталей применяют низкотемпературное цианирование.

Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, долбяки, протяжки, метчики машинные, ножи для резки бумаги. Часто из быстрорежущей стали изготавливают только рабочую часть инструмента.

Стали для измерительных инструментов

Основными требованиями, предъявляемыми к сталям, из которых изготавливаются измерительные инструменты, являются высокая твердость и износоустойчивость, стабильность в размерах в течение длительного времени. Последнее требование обеспечивается минимальным температурным

коэффициентом линейного расширения и сведением к минимуму структурных превращений во времени.

Для изготовления измерительных инструментов применяются:

- высокоуглеродистые инструментальные стали, легированные и углеродистые (стали У12, Х, Х9, ХГ), после закалки и стабилизирующего низкотемпературного (120...170 °С) отпуска в течение 10...30 ч. До отпуска желательно провести обработку холодом. Получают твердость 62...67 HRC;
- малоуглеродистые стали (сталь 15, 20) после цементации и закалки с низким отпуском;
- нитралои (сталь 38ХМЮА) после азотирования на высокую твердость

Штамповые стали

Инструмент, применяемый для обработки металлов давлением (штампы, пуансоны, матрицы) изготавливают из штамповых сталей.

Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования.

Стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью, вязкостью (чтобы воспринимать ударные нагрузки), сопротивлением пластическим деформациям.

Для штампов небольших размеров (до 25 мм) используют углеродистые инструментальные стали У10, У11, У12 после закалки и низкого отпуска на твердость 57...59 HRC. Это позволяет получить хорошую износостойкость и ударную вязкость.

Для более крупных изделий применяют легированные стали Х, Х9, Х6ВФ. Для повышения износостойкости инструмента после термической обработки проводят цианирование или хромирование рабочих поверхностей.

Для уменьшения брака при закалке необходимо медленное охлаждение в области температур мартенситного превращения (например, закалка из воды в масло для углеродистых сталей, ступенчатая закалка для легированных сталей).

Если штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, то используют стали, обладающие большей вязкостью (стали 4ХС4, 5ХНМ). Это достигается снижением содержания углерода, введением легирующих элементов и соответствующей термической обработкой. После закалки проводят высокий отпуск при температуре 480...580°С, что обеспечивает твердость 38...45 HRC.

Стали для штампов горячего деформирования

Дополнительно к общим требованиям, от сталей этой группы требуется устойчивость против образования трещин при многократном нагреве и охлаждении, окалиностойкость, высокая теплопроводность для отвода теплоты от рабочих поверхностей штампа, высокая прокаливаемость для обеспечения высокой прочности по всему сечению инструмента.

Для изготовления молотовых штампов применяют хромоникелевые среднеуглеродистые стали 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХСМФ. Вольфрам и молибден добавляют для снижения склонности к отпускной хрупкости. После термической обработки, включающей закалку с температуры 760...820°C и отпуск при 460...540°C, сталь имеет структуру – сорбит или троостит и сорбит отпуска. Твердость 40...45 HRC.

Штампы горячего прессования работают в более тяжелых условиях. Для их изготовления применяются стали повышенной теплостойкости. Сталь 3Х2В8Ф сохраняет теплостойкость до 650°C, но наличие карбидов вольфрама снижает вязкость. Сталь 4Х5В2ФС имеет высокую вязкость. Повышенное содержание хрома и кремния значительно увеличивает окалинностойкость стали.

Твердые сплавы

В качестве материалов для инструментов используются *твердые сплавы*, которые состоят из твердых карбидов и связующей фазы. Они изготавливаются методами порошковой металлургии.

Характерной особенностью твердых сплавов является очень высокая твердость 87...92 HRC при достаточно высокой прочности. Твердость и прочность зависят от количества связующей фазы (кобальта) и величины зерен карбидов. Чем крупнее зерна карбидов, тем выше прочность. Твердые сплавы отличаются большой износостойкостью и теплостойкостью. Основными твердыми сплавами являются группы ВК (WC + Co), ТК (WC + TiC + Co), ТТК (WC + TiC + TaC + Co). Наиболее распространенными сплавами группы ВК являются сплавы марок ВК3, ВК6, ВК8, ВК20, где число показывает содержание кобальта в процентах, остальное – карбиды вольфрама WC. Сплавы группы ТК марок Т30К6, Т14К8 – первое число показывает содержание карбидов титана в процентах, второе – содержание кобальта в процентах. Сплавы этой группы лучше противостоят изнашиванию, обладают большей твердостью, тепло- и жаростойкостью, стойкостью к коррозии, но меньшей теплопроводностью и большей хрупкостью. Используются на средних и высоких скоростях резания.

Сплавы с малым количеством кобальта обладают повышенной твердостью и износостойкостью, но минимальной прочностью, Поэтому их используют для чистового точения (ВК3, Т30К4).

Сплавы с повышенным содержанием кобальта используют для чернового точения (ВК8, Т14К8).

Сплав ВК20 начинают использовать для армирования штампов, что повышает их износостойкость.

Износостойкость инструментов из твердых сплавов превышает износостойкость инструментов из быстрорежущих сталей в 10...20 раз и сохраняется до температур 800...1000°C.

Алмаз как материал для изготовления инструментов

80 % добываемых природных алмазов и все синтетические алмазы используются в качестве инструментальных материалов.

Основное количество алмазов используется в виде алмазного порошка для изготовления алмазно-абразивного инструмента – шлифовальных кругов, притиров, хофов, надфилей и др., для обработки особо твердых металлов и горных пород. Большое значение имеют заточные круги для твердосплавного инструмента, это увеличивает производительность труда и срок службы инструмента. Повышение стойкости твердосплавного инструмента обеспечивается высокой чистотой (отсутствие зазубрин, мелких трещин) лезвия инструмента.

Алмазный инструмент изготавливается в виде алмазосодержащих кругов с бакелитовой или металлической связкой.

Также изготавливают алмазные резцы (для обработки корпусов часов), фильеры (для волочения проволоки из высокотвердых и драгоценных металлов) и др.

Лекция 20

Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы

1. [Коррозия электрохимическая и химическая.](#)
2. [Классификация коррозионно-стойких сталей и сплавов](#)
3. [Хромистые стали.](#)
4. [Жаростойкость, жаростойкие стали и сплавы.](#)
5. [Жаропрочность, жаропрочные стали и сплавы](#)
6. [Классификация жаропрочных сталей и сплавов](#)

Коррозия электрохимическая и химическая.

Разрушение металла под воздействием окружающей среды называют *коррозией*.

Коррозия помимо уничтожения металла отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики деталей, содействуя всем видам разрушения.

Коррозия в зависимости от характера окружающей среды может быть химической и электрохимической.

Электрохимическая коррозия имеет место в водных растворах, а так же в обыкновенной атмосфере, где имеется влага.

Сущность этой коррозии в том, что ионы металла на поверхности детали, имея малую связь с глубинными ионами, легко отрываются от металла молекулами воды.

Металл, потеряв часть положительно заряженных частиц, ионов, заряжается отрицательно за счет избыточного количества оставшихся электронов. Одновременно слой воды, прилегающий к металлу, за счет ионов металла приобретает положительный заряд. Разность зарядов на границе металл – вода обуславливает скачок потенциала, который в процессе коррозии изменяется, увеличиваясь от растворения металла, и уменьшаясь от осаждения ионов из раствора на металле.

Если количество ионов переходящих в раствор и осаждающихся на металле одинаково, то скорости растворения и осаждения металла равны и процесс коррозии (разрушения металла) не происходит. Этому соответствует равновесный потенциал φ .

За нулевой потенциал принимают равновесный потенциал водородного иона в водном растворе при концентрации положительных ионов водорода, равной 1 моль ионов H^+ на 1 литр.

Стандартные потенциалы других элементов измерены по отношению к водородному потенциалу.

Элемент	Потенциал
Mg	-1,55 В
Al	-1,3 В
Zn	-0,76 В
Cr	-0,5 В
Fe	-0,44 В
Ni	-0,23 В
H	±0,00 В
Cu	+0,34 В
Ag	+0,8 В
Au	+1,5 В

Металлы, стандартный потенциал которых отрицательный – корродируют в воде, в которой растворен кислород тем активнее, чем отрицательней значение электрохимического потенциала.

Уходящие ионы металла, взаимодействуя с ионами OH^- , образуют гидроксиды, нерастворимые в воде, которые называют *ржавчиной*, а процесс их образования – *ржавлением*.

Схема ржавления железа:



Гидроксид железа $Fe(OH)_2$ в присутствии кислорода, растворенного в воде, превращается в $Fe(OH)_3$. Так как это нерастворимое соединение, то равновесный потенциал не может быть достигнут и коррозия будет продолжаться до полного разрушения.

В зависимости от структуры коррозия имеет разное проявление: при однородном металле – коррозия происходит равномерно по всей поверхности. При неоднородном металле – коррозия избирательная и называется точечной. Это явление наиболее опасно, так как приводит к быстрой порче всего изделия. Избирательная коррозия создает очаги концентрации напряжений, что содействует разрушению.

Химическая коррозия может происходить за счет взаимодействия металла с газовой средой при отсутствии влаги. Продуктом коррозии являются оксиды металла. Образуется пленка на поверхности металла толщиной в 1...2 периода кристаллической решетки. Этот слой изолирует металл от кислорода и препятствует дальнейшему окислению, защищает от электрохимической коррозии в воде. При создании коррозионно-стойких сплавов – сплав должен иметь повышенное значение электрохимического потенциала и быть по возможности однофазным.

Классификация коррозионно-стойких сталей и сплавов

Коррозионная стойкость может быть повышена, если содержание углерода свести до минимума, если ввести легирующий элемент, образующий с железом твердые растворы в таком количестве, при котором скачкообразно повысится электродный потенциал сплава.

Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются нержавеющие стали с повышенным содержанием хрома: хромистые и хромоникелевые. На рис. 20.1 показано влияние количества хрома в железохромистых сплавах на электрохимический потенциал сплава.

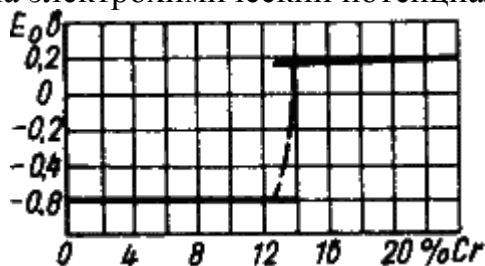


Рис 20.1. Влияние хрома на потенциал сплавов Fe-Cr

Хромистые стали.

Содержание хрома должно быть не менее 13% (13...18%).

Коррозионная стойкость объясняется образованием на поверхности защитной пленки оксида Cr_2O_3 .

Углерод в нержавеющих сталях является нежелательным, так как он обедняет раствор хромом, связывая его в карбиды, и способствует получению двухфазного состояния. Чем ниже содержание углерода, тем выше коррозионная стойкость нержавеющих сталей.

Различают стали ферритного класса 08X13, 12X17, 08X25Т, 15X28. Стали с повышенным содержанием хрома не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не могут быть подвергнуты закалке. Значительным недостатком ферритных хромистых сталей является повышенная хрупкость из-за крупнокристаллической структуры. Эти стали склонны к межкристаллитной коррозии (по границам зерен) из-за обеднения хромом границ зерен. Для избежания этого вводят небольшое количество титана. Межкристаллитная коррозия обусловлена тем, что часть хрома около границ зерна взаимодействует с углеродом и образует карбиды. Концентрация хрома в твердом растворе у границ становится меньше 13% и сталь приобретает отрицательный потенциал.

Из-за склонности к росту зерна ферритные стали требуют строгих режимов сварки и интенсивного охлаждения зоны сварного шва. Недостатком является и склонность к охрупчиванию при нагреве в интервале температур 450...500°C

Из ферритных сталей изготавливают оборудование азотно-кислотных заводов (емкости, трубы).

Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей в них добавляют 2...3 % никеля. Стали 10X13НЗ, 12X17Н2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах.

После закалки от температуры 1000°C и отпуска при 700...750°C предел текучести сталей составляет 1000 МПа.

Термическую обработку для ферритных сталей проводят для получения структуры более однородного твердого раствора, что увеличивает коррозионную стойкость.

Стали мартенситного класса 20X13, 30X13, 40X13. После закалки и отпуска при 180...250°C стали 30X13, 40X13 имеют твердость 50...60 HRC и используются для изготовления режущего инструмента (хирургического), пружин для работы при температуре 400...450°, предметов домашнего обихода.

Стали аустенитного класса – высоколегированные хромоникелевые стали.

Никель – аустенитообразующий элемент, сильно понижающий критические точки $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. После охлаждения на воздухе до комнатной температуры имеет структуру аустенита.

Нержавеющие стали аустенитного класса 04X18H10, 12X18H9T имеют более высокую коррозионную стойкость, лучшие технологические свойства по сравнению с хромистыми нержавеющими сталями, лучше свариваются. Они сохраняют прочность до более высоких температур, менее склонны к росту зерна при нагреве и не теряют пластичности при низких температурах.

Хромоникелевые стали коррозионностойки в окислительных средах. Основным элементом является хром, никель только повышает коррозионную стойкость.

Для большей гомогенности хромоникелевые стали подвергают закалке с температуры 1050...1100°C в воде. При нагреве происходит растворение карбидов хрома в аустените. Выделение их из аустенита при закалке исключено, так как скорость охлаждения велика. Получают предел прочности $\sigma_b = 500...600$ МПа, и высокие характеристики пластичности, относительное удлинение $\delta = 35...45\%$.

Упрочняют аустенитные стали холодной пластической деформацией, что вызывает эффект наклепа. Предел текучести при этом может достигнуть значений 1000...1200 МПа, а предел прочности – 1200...1400 МПа.

Для уменьшения дефицитного никеля часть его заменяют марганцем (сталь 40X14Г14Н3Т) или азотом (сталь 10X20Н4АГ11).

Аустенитно-ферритные стали 12X21Н5Т, 08X22Н6Т являются заменителями хромоникелевых сталей с целью экономии никеля.

Свойства сталей зависят от соотношения ферритной и аустенитной фаз (оптимальные свойства получают при соотношении – Ф:А=1:1). Термическая обработка сталей включает закалку от температуры 1100...1150°C и отпуск-старение при температуре 500...750°C.

Аустенитно-ферритные стали не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением: трещины могут возникать только на аустенитных участках, но ферритные участки задерживают их развитие. При комнатных температурах аустенитно-ферритные стали имеют твердость и прочность выше, а пластичность и ударную вязкость ниже, чем стали аустенитного класса.

Кроме нержавеющих сталей в промышленности применяют коррозионно-стойкие сплавы – это *сплавы на никелевой основе*. Сплавы типа *хастеллой* содержат до 80 % никеля, другим элементом является молибден в количестве до 15...30 %. Сплавы являются коррозионно-стойкими в особо агрессивных средах (кипящая фосфорная или соляная кислота), обладают высокими механическими свойствами.

После термической обработки – закалки и старения при температуре 800°C – сплавы имеют предел прочности $\sigma_s \approx 1200$ МПа, и твердость $HV \approx 360$. Недостатком является склонность к межкристаллической коррозии, поэтому содержание углерода в этих сплавах должно быть минимальным.

Жаростойкость, жаростойкие стали и сплавы.

Жаростойкость (окалиностойкость) – это способность металлов и сплавов сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах в течение длительного времени.

Если изделие работает в окислительной газовой среде при температуре 500..550°C без больших нагрузок, то достаточно, чтобы они были только жаростойкими (например, детали нагревательных печей).

Сплавы на основе железа при температурах выше 570°C интенсивно окисляются, так как образующаяся в этих условиях на поверхности металла оксид железа FeO (вюстит) с простой решеткой, имеющей дефицит атомов кислорода (твердый раствор вычитания), не препятствует диффузии кислорода и металла. Происходит интенсивное образование хрупкой окалины.

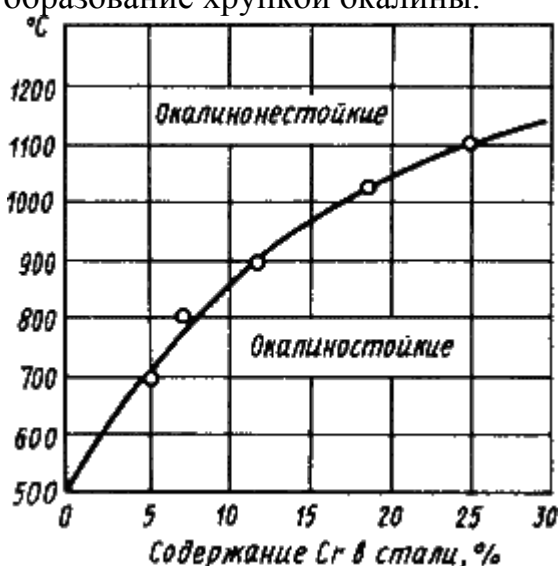


Рис. 20.2. Влияние хрома на жаростойкость хромистой стали

Для повышения жаростойкости в состав стали вводят элементы, которые образуют с кислородом оксиды с плотным строением кристаллической решетки (хром, кремний, алюминий).

Степень легированности стали, для предотвращения окисления, зависит от температуры. Влияние хрома на жаростойкость хромистой стали показано на рис.20.2.

Чем выше содержание хрома, тем более окалиностойки стали (например, сталь 15Х25Т является окалиностойкой до температуры 1100...1150°C).

Высокой жаростойкостью обладают сильхромы, сплавы на основе никеля – нихромы, стали 08Х17Т, 36Х18Н25С2, 15Х6СЮ.

Жаропрочность, жаропрочные стали и сплавы

Жаропрочность – это способность металла сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах.

Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах, когда имеет место явление ползучести.

Критериями оценки жаропрочности являются кратковременная и длительная прочности, ползучесть.

Кратковременная прочность определяется с помощью испытаний на растяжение разрывных образцов. Образцы помещают в печь и испытывают при заданной температуре. Обозначают кратковременную прочность $\sigma_{\text{в}}$, например $\sigma_{\text{в}}^{300^{\circ}\text{C}} = 300\text{МПа}$.

Прочность зависит от продолжительности испытаний.

Пределом длительной прочности называется максимальное напряжение $\sigma_{\text{д}}$, которое вызывает разрушение образца при заданной температуре за определенное время.

Например $\sigma_{300^{\circ}\text{C}}^{10000} = 200\text{МПа}$, верхний индекс означает температуру испытаний, а нижний – заданную продолжительность испытания в часах. Для котельных установок требуется невысокое значение прочности, но в течение нескольких лет.

Ползучесть – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре.

При испытаниях образцы помещают в печь с заданной температурой и прикладывают постоянную нагрузку. Измеряют деформацию индикаторами.

При обычной температуре и напряжениях выше предела упругости $\sigma > \sigma_{\text{уп}}$ ползучесть не наблюдается, а при температуре выше $0,6T_{\text{пл}}$, когда протекают процессы разупрочнения, и при напряжениях выше предела упругости $\sigma > \sigma_{\text{уп}}$ наблюдается ползучесть.

В зависимости от температуры скорость деформации при постоянной нагрузке выражается кривой состоящей из трех участков (рис. 20.3):

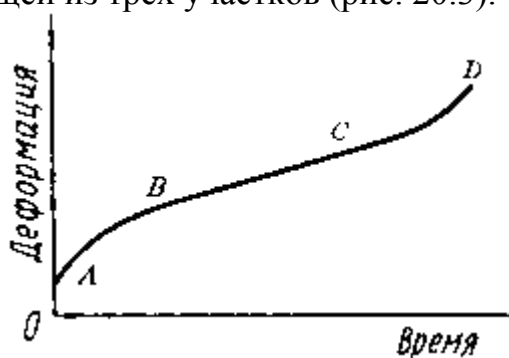


Рис. 20.3. Кривая ползучести

1. OA – упругая деформация образца в момент приложения нагрузки;
2. AB – участок, соответствующий начальной скорости ползучести;
3. BC – участок установившейся скорости ползучести, когда удлинение имеет постоянную скорость.

Если напряжения достаточно велики, то протекает третья стадия (участок CD), связанная с началом разрушения образца (образование шейки).

Для углеродистых сталей ползучесть наблюдается при нагреве выше 400°C .

Предел ползучести – напряжение, которое за определенное время при заданной температуре вызывает заданное суммарное удлинение или заданную скорость деформации $\sigma_{\epsilon/t}$.

Например $\sigma_{1000 \ 0,1\%} = 250$ МПа, где верхний индекс – температура испытания в °С, первый нижний индекс – заданное суммарное удлинение в процентах, второй – заданная продолжительность испытания в часах.

Классификация жаропрочных сталей и сплавов

В качестве современных жаропрочных материалов можно отметить *перлитные, мартенситные и аустенитные жаропрочные стали, никелевые и кобальтоавые жаропрочные сплавы, тугоплавкие металлы.*

При температурах до 300°С обычные конструкционные стали имеют высокую прочность, нет необходимости использовать высоколегированные стали.

Для работы в интервале температур 350...500°С применяют легированные стали перлитного, ферритного и мартенситного классов.

Перлитные жаропрочные стали. К этой группе относятся котельные стали и сильхромы. Эти стали применяются для изготовления деталей котельных агрегатов, паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания. Стали содержат относительно мало углерода. Легирование сталей хромом, молибденом и ванадием производится для повышения температуры рекристаллизации (марки 12Х1МФ, 20Х3МФ). Используются в закаленном и высокоотпущенном состоянии. Иногда закалку заменяют нормализацией. В результате этого образуются пластинчатые продукты превращения аустенита, которые обеспечивают более высокую жаропрочность. Предел ползучести этих сталей должен обеспечить остаточную деформацию в пределах 1 % за время 10000...100000 ч работы.

Перлитные стали обладают удовлетворительной свариваемостью, поэтому используются для сварных конструкций (например, трубы пароперегревателей).

Для деталей газовых турбин применяют сложнoleгированные *стали мартенситного класса* 12Х2МФСР, 12Х2МФБ, 15Х12ВНМФ. Увеличение содержания хрома повышает жаростойкость сталей. Хром, вольфрам, молибден и ванадий повышают температуру рекристаллизации, образуются карбиды, повышающие прочность после термической обработки. Термическая обработка состоит из закалки от температур выше 1000°С в масле или на воздухе и высокого отпуска при температурах выше температуры эксплуатации.

Для изготовления жаропрочных деталей, не требующих сварки (клапаны двигателей внутреннего сгорания), применяются хромокремнистые стали – *сильхромы*: 40Х10С2М, 40Х9С2, Х6С.

Жаропрочные свойства растут с увеличением степени легированности. Сильхромы подвергаются закалке от температуры около 1000°С и отпуску при температуре 720...780°С.

При рабочих температурах 500...700°С применяются стали *аустенитного класса*. Из этих сталей изготавливают клапаны двигателей, лопатки газовых турбин, сопловые аппараты реактивных двигателей и т.д.

Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали, дополнительно легированные вольфрамом, молибденом, ванадием и другими

элементами. Стали содержат 15...20 % хрома и 10...20 % никеля. Обладают жаропрочностью и жаростойкостью, пластичны, хорошо свариваются, но затруднена обработка резанием и давлением, охрупчиваются в интервале температур около 600°C, из-за выделения по границам различных фаз.

По структуре стали подразделяются на две группы:

1. Аустенитные стали с *гомогенной структурой* 17X18H9, 09X14H19B2BP1, 12X18H12T. Содержание углерода в этих сталях минимальное. Для создания большей однородности аустенита стали подвергаются закалке с 1050...1100°C в воде, затем для стабилизации структуры – отпуску при 750°C.

2. Аустенитные стали с *гетерогенной структурой* 37X12H8Г8МФБ, 10X11H20ТЗР.

Термическая обработка сталей включает закалку с 1050...1100°C. После закалки старение при температуре выше эксплуатационной (600...750°C). В процессе выдержки при этих температурах в дисперсном виде выделяются карбиды, карбонитриды, вследствие чего прочность стали повышается.

Детали, работающие при температурах 700...900°C, изготавливают из сплавов на основе *никеля и кобальта* (например, турбины реактивных двигателей).

Никелевые сплавы преимущественно применяют в деформированном виде. Они содержат более 55 % никеля и минимальное количество углерода (0,06...0,12 %). По жаропрочным свойствам превосходят лучшие жаропрочные стали.

По структуре никелевые сплавы разделяют на *гомогенные (нихромы)* и *гетерогенные (нимоники)*.

Нихромы. Основой этих сплавов является никель, а основным легирующим элементом – хром (ХН60Ю, ХН78Т).

Нихромы не обладают высокой жаропрочностью, но они очень жаростойки. Их применяют для малонагруженных деталей, работающих в окислительных средах, в том числе и для нагревательных элементов.

Нимоники являются четвертными сплавами никель – хром (около 20 %) – титан (около 2%) – алюминий (около 1 %) (ХН77ТЮ, ХН70МВТЮБ, ХН55ВМТФКЮ). Используются только в термически обработанном состоянии. Термическая обработка состоит из закалки с 1050...1150°C на воздухе и отпуска – старения при 600...800°C.

Увеличение жаропрочности сложнолегированных никелевых сплавов достигается упрочнением твердого раствора введением кобальта, молибдена, вольфрама.

Основными материалами, которые могут работать при температурах выше 900°C (до 2500°C), являются *сплавы на основе тугоплавких металлов* – вольфрама, молибдена, ниобия и других.

Температуры плавления основных тугоплавких металлов: вольфрам – 3400°C, тантал – 3000°C, молибден – 2640°C, ниобий – 2415°C, хром – 1900°C.

Высокая жаропрочность таких металлов обусловлена большими силами межатомных связей в кристаллической решетке и высокими температурами рекристаллизации.

Наиболее часто применяют сплавы на основе молибдена. В качестве легирующих добавок в сплавы вводят титан, цирконий, ниобий. С целью защиты от окисления проводят силицирование, на поверхности сплавов образуется слой $MoSi_2$

толщиной 0,03...0,04 мм. При температуре 1700°C силицированные детали могут работать 30 часов.

Вольфрам – наиболее тугоплавкий металл. Его используют в качестве легирующего элемента в сталях и сплавах различного назначения, в электротехнике и электронике (нити накала, нагреватели в вакуумных приборах).

В качестве легирующих элементов к вольфраму добавляют молибден, рений, тантал. Сплавы вольфрама с рением сохраняют пластичность до –196°C и имеют предел прочности 150 МПа при температуре 1800°C.

Для сплавов на основе вольфрама характерна низкая жаростойкость, пленки образующихся оксидов превышают объем металла более, чем в три раза, поэтому они растрескиваются и отслаиваются (Изготавливают изделия, работающие в вакууме).

Лекция 21

Цветные металлы и сплавы на их основе. Титан и его сплавы. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы. Медь и ее сплавы

1. [Медь и ее сплавы](#)
2. [Титан и его сплавы](#)
3. [Области применения титановых сплавов:](#)
4. [Алюминий и его сплавы](#)
5. [Алюминиевые сплавы.](#)
6. [Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой.](#)
7. [Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой.](#)
8. [Литейные алюминиевые сплавы.](#)
9. [Магний и его сплавы](#)
10. [Деформируемые магниевые сплавы.](#)
11. [Литейные магниевые сплавы.](#)
12. [Медь и ее сплавы](#)
13. [Латуни.](#)
14. [Бронзы](#)

Медь и ее сплавы

Цветные металлы являются более дорогими и дефицитными по сравнению с черными металлами, однако область их применения в технике непрерывно расширяется. Это сплавы на основе титана, алюминия, магния, меди.

Переход промышленности на сплавы из легких металлов значительно расширяет сырьевую базу. Титан, алюминий, магний можно получать из бедных и сложных по составу руд, отходов производства.

Титан и его сплавы

Титан серебристо-белый легкий металл с плотностью 4,5 г/см³. Температура плавления титана зависит от степени чистоты и находится в пределах 1660...1680°C.

Чистый иодидный титан, в котором сумма примесей составляют 0,05...0,1 %, имеет модуль упругости 112 000 МПа, предел прочности около 300 МПа, относительное удлинение 65%. Наличие примесей сильно влияет на свойства. Для технического титана ВТ1, с суммарным содержанием примесей 0,8 %, предел прочности составляет 650 МПа, а относительное удлинение – 20 %.

При температуре 882°C титан претерпевает полиморфное превращение, α –титан с гексагональной решеткой переходит в β –титан с объемно-центрированной кубической решеткой. Наличие полиморфизма у титана создает предпосылки для улучшения свойств титановых сплавов с помощью термической обработки.

Титан имеет низкую теплопроводность. При нормальной температуре обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, в воде, в органических и неорганических кислотах (не стоек в плавиковой, крепких серной и азотной кислотах), благодаря тому, что на воздухе быстро покрывается защитной пленкой плотных оксидов. При нагреве выше 500°C становится очень активным элементом. Он либо растворяет почти все соприкасающиеся и ним вещества, либо образует с ними химические соединения.

Титановые сплавы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими:

- сочетание высокой прочности ($\sigma_{\beta} = 800...1000$ МПа) с хорошей пластичностью ($\delta = 12...25\%$);
- малая плотность, обеспечивающая высокую удельную прочность;
- хорошая жаропрочность, до 600...700°C;
- высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах.

Однородные титановые сплавы, не подверженные старению, используют в криогенных установках до гелиевых температур.

В результате легирования титановых сплавов можно получить нужный комплекс свойств. Легирующие элементы, входящие в состав промышленных титановых сплавов, образуют с титаном твердые растворы замещения и изменяют температуру аллотропического превращения. Влияние легирующих элементов на полиморфизм титана показано на рис. 21.1.

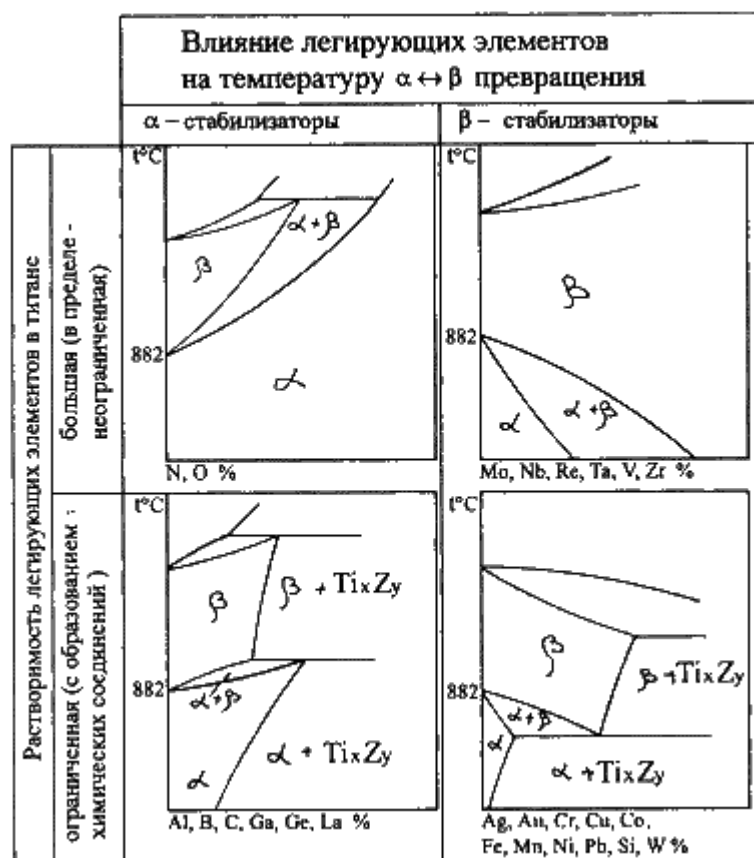


Рис.21.1. Влияние легирующих элементов на полиморфизм титана:

Элементы, повышающие температуру превращения, способствуют стабилизации α — твердого раствора и называются α –стабилизаторами, это – алюминий, кислород, азот, углерод.

Элементы, понижающие температуру превращения, способствуют стабилизации β – твердого раствора и называются β – стабилизаторами, это – молибден, ванадий, хром, железо.

Кроме α – и β –стабилизаторов различают нейтральные упрочнители: олово, цирконий, гафний.

В соответствии с влиянием легирующих элементов титановые сплавы при нормальной температуре могут иметь структуру α или $\alpha + \beta$.

Сплавы на основе титана можно подвергать всем видам термической обработки, химико-термической и термомеханической обработке. Упрочнение титановых сплавов достигается легированием, наклепом, термической обработкой.

Часто титановые сплавы легируют алюминием, он увеличивает прочность и жаропрочность, уменьшает вредное влияние водорода, увеличивает термическую стабильность. Для повышения износостойкости титановых сплавов их подвергают цементации или азотированию.

Основным недостатком титановых сплавов является плохая обрабатываемость режущим инструментом.

По способу производства деталей различаются деформируемые (ВТ 9, ВТ 18) и литейные (ВТ 21Л, ВТ 31Л) сплавы.

Области применения титановых сплавов:

- авиация и ракетостроение (корпуса двигателей, баллоны для газов, сопла, диски, детали крепежа);
- химическая промышленность (компрессоры, клапаны, вентили для агрессивных жидкостей);
- оборудование для обработки ядерного топлива;
- морское и речное судостроение (гребные винты, обшивка морских судов, подводных лодок);
- криогенная техника (высокая ударная вязкость сохраняется до -253°C).

Алюминий и его сплавы

Алюминий – легкий металл с плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 660°C . Имеет гранцентрированную кубическую решетку. Обладает высокой тепло- и электропроводностью. Химически активен, но образующаяся плотная пленка оксида алюминия Al_2O_3 , предохраняет его от коррозии.

Механические свойства: предел прочности 150 МПа, относительное удлинение 50 %, модуль упругости 7000 МПа.

Алюминий высокой чистоты маркируется *A99* (99,999 % Al), *A8*, *A7*, *A6*, *A5*, *A0* (содержание алюминия от 99,85 % до 99 %).

Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают строительные конструкции, малонагруженные детали машин, используют в качестве электротехнического материала для кабелей, проводов.

Алюминиевые сплавы.

Принцип маркировки алюминиевых сплавов. В начале указывается тип сплава: Д – сплавы типа дюралюминов; А – технический алюминий; АК – ковкие алюминиевые сплавы; В – высокопрочные сплавы; АЛ – литейные сплавы.

Далее указывается условный номер сплава. За условным номером следует обозначение, характеризующее состояние сплава: М – мягкий (отожженный); Т – термически обработанный (закалка плюс старение); Н – нагартованный; П – полунагартованный

По технологическим свойствам сплавы подразделяются на три группы:

- деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой;
- деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой;
- литейные сплавы.

Методами порошковой металлургии изготавливают спеченные алюминиевые сплавы (САС) и спеченные алюминиевые порошковые сплавы (САП).

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой.

Прочность алюминия можно повысить легированием. В сплавы, не упрочняемые термической обработкой, вводят марганец или магний. Атомы этих элементов существенно повышают его прочность, снижая пластичность. Обозначаются сплавы: с марганцем – АМц, с магнием – АМг; после обозначения элемента указывается его содержание (АМгЗ).

Магний действует только как упрочнитель, марганец упрочняет и повышает коррозионную стойкость.

Прочность сплавов повышается только в результате деформации в холодном состоянии. Чем больше степень деформации, тем значительно растет прочность и снижается пластичность. В зависимости от степени упрочнения различают сплавы нагартованные и полунагартованные (АМгЗП).

Эти сплавы применяют для изготовления различных сварных емкостей для горючего, азотной и других кислот, мало- и средненагруженных конструкций.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой.

К таким сплавам относятся дюралюмины (сложные сплавы систем алюминий – медь – магний или алюминий – медь – магний – цинк). Они имеют пониженную коррозионную стойкость, для повышения которой вводится марганец.

Дюралюмины обычно подвергаются закалке с температуры 500°С и естественному старению, которому предшествует двух-, трехчасовой инкубационный период. Максимальная прочность достигается через 4...5 суток.

Широкое применение дюралюмины находят в авиастроении, автомобилестроении, строительстве.

Высокопрочными стареющими сплавами являются сплавы, которые кроме меди и магния содержат цинк. Сплавы В95, В96 имеют предел прочности около 650 МПа. Основным потребителем – авиастроение (обшивка, стрингеры, лонжероны).

Ковочные алюминиевые сплавы АК:, АК8 применяются для изготовления поковок. Поковки изготавливаются при температуре 380...450°С, подвергаются закалке от температуры 500...560°С и старению при 150...165°С в течение 6...15 часов.

В состав алюминиевых сплавов дополнительно вводят никель, железо, титан, которые повышают температуру рекристаллизации и жаропрочность до 300°С.

Изготавливают поршни, лопатки и диски осевых компрессоров, турбореактивных двигателей.

Литейные алюминиевые сплавы.

К литейным сплавам относятся сплавы системы алюминий – кремний (силумины), содержащие 10...13 % кремния.

Присадка к силуминам магния, меди содействует эффекту упрочнения литейных сплавов при старении. Титан и цирконий измельчают зерно. Марганец повышает антикоррозионные свойства. Никель и железо повышают жаропрочность.

Литейные сплавы маркируются от АЛ2 до АЛ20. Силумины широко применяют для изготовления литых деталей приборов и других средне- и малонагруженных деталей, в том числе тонкостенных отливок сложной формы.

Магний и его сплавы

Магний – очень легкий металл, его плотность – 1,74 г/см³. Температура плавления – 650°С. Магний имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку. Очень активен химически, вплоть до самовозгорания на

воздухе. Механические свойства технически чистого магния (Mg1): предел прочности – 190 МПа, относительное удлинение – 18 %, модуль упругости – 4500 МПа.

Основными магниевыми сплавами являются сплавы магния с алюминием, цинком, марганцем, цирконием. Сплавы делятся на деформируемые и литейные.

Сплавы упрочняются после закалки и искусственного старения. Закалку проводят от температуры 380...420°C, старение при температуре 260...300°C в течение 10...24 часов. Особенностью является длительная выдержка под закалку – 4...24 часа.

Деформируемые магниевые сплавы.

Магний плохо деформируется при нормальной температуре. Пластичность сплавов значительно увеличивается при горячей обработке давлением (360...520°C). Деформируемые сплавы маркируют МА1, МА8, МА9, ВМ 5—1.

Из деформируемых магниевых сплавов изготавливают детали автомашин, самолетов, прядильных и ткацких станков. В большинстве случаев эти сплавы обладают удовлетворительной свариваемостью.

Литейные магниевые сплавы.

Литейные сплавы маркируются МЛ3, МЛ5, ВМЛ–1. Последний сплав является жаропрочным, может работать при температурах до 300°C.

Отливки изготавливают литьем в землю, в кокиль, под давлением. Необходимы меры, предотвращающие загорание сплава при плавке, в процессе литья.

Из литейных сплавов изготавливают детали двигателей, приборов, телевизоров, швейных машин.

Магниевые сплавы, благодаря высокой удельной прочности широко используются в самолето- и ракетостроении.

Медь и ее сплавы

Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку. Плотность меди 8,94 г/см³, температура плавления 1083°C.

Характерным свойством меди является ее высокая электропроводность, поэтому она находит широкое применение в электротехнике. Технически чистая медь маркируется: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М2, М3 и М4 (99 % Cu).

Механические свойства меди относительно низкие: предел прочности составляет 150...200 МПа, относительное удлинение – 15...25 %. Поэтому в качестве конструкционного материала медь применяется редко. Повышение механических свойств достигается созданием различных сплавов на основе меди.

Различают две группы медных сплавов: *латуни* – сплавы меди с цинком, *бронзы* – сплавы меди с другими (кроме цинка) элементами.

Латуни.

Латуни могут иметь в своем составе до 45 % цинка. Повышение содержания цинка до 45 % приводит к увеличению предела прочности до 450 МПа. Максимальная пластичность имеет место при содержании цинка около 37 %.

При сплавлении меди с цинком образуется ряд твердых растворов $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ (рис.21.2).

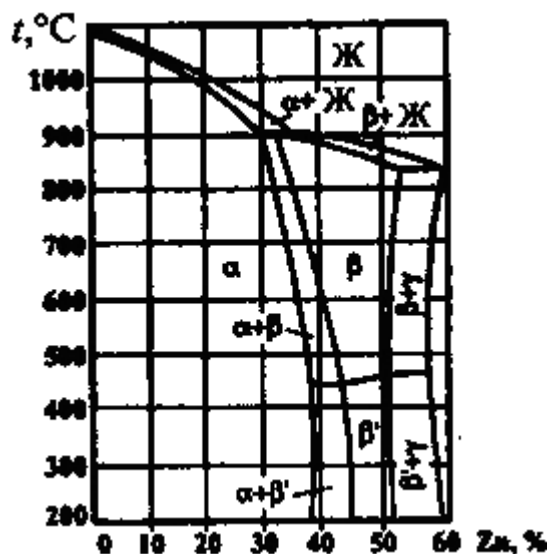


Рис.21.2. Диаграмма состояния медь – цинк

Из диаграммы состояния медь – цинк видно, что в зависимости от состава имеются однофазные латуни, состоящие из α – твердого раствора, и двухфазные ($\alpha + \beta$) – латуни.

По способу изготовления изделий различают латуни деформируемые и литейные.

Деформируемые латуни маркируются буквой Л, за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах, например в латуни Л62 содержится 62 % меди и 38 % цинка. Если кроме меди и цинка, имеются другие элементы, то ставятся их начальные буквы (О – олово, С – свинец, Ж – железо, Ф – фосфор, Мц – марганец, А – алюминий, Ц – цинк). Количество этих элементов обозначается соответствующими цифрами после числа, показывающего содержание меди, например, сплав ЛАЖ60-1-1 содержит 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и 38 % цинка.

Однофазные α – латуни используются для изготовления деталей деформированием в холодном состоянии. Изготавливают ленты, гильзы патронов, радиаторные трубки, проволоку.

Для изготовления деталей деформированием при температуре выше 500°C используют ($\alpha + \beta$) – латуни. Из двухфазных латуней изготавливают листы, прутки и другие заготовки, из которых последующей механической обработкой изготавливают детали. Обрабатываемость резанием улучшается присадкой в состав латуни свинца, например, латунь марки ЛС59-1, которую называют “автоматной латунью”.

Латуни имеют хорошую коррозионную стойкость, которую можно повысить дополнительно присадкой олова. Латунь ЛО70-1 стойка против коррозии в морской воде и называется “морской латунью”.

Добавка никеля и железа повышает механическую прочность до 550 МПа.

Литейные латуни также маркируются буквой Л, После буквенного обозначения основного легирующего элемента (цинк) и каждого последующего ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве. Например, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца.. Наилучшей жидкотекучестью обладает латунь марки ЛЦ16К4. К литейным латуням относятся латуни типа ЛС, ЛК, ЛА, ЛАЖ, ЛАЖМц. Литейные латуни не склонны к ликвации, имеют сосредоточенную усадку, отливки получаются с высокой плотностью.

Латуни являются хорошим материалом для конструкций, работающих при отрицательных температурах.

Бронзы

Сплавы меди с другими элементами кроме цинка называются *бронзами*.

Бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

При маркировке деформируемых бронз на первом месте ставятся буквы Бр, затем буквы, указывающие, какие элементы, кроме меди, входят в состав сплава. После букв идут цифры, показывающие содержание компонентов в сплаве. Например, марка БрОФ10-1 означает, что в бронзу входит 10 % олова, 1 % фосфора, остальное – медь.

Маркировка литейных бронз также начинается с букв Бр, затем указываются буквенные обозначения легирующих элементов и ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве. Например, бронза БрО3Ц12С5 содержит 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца, остальное – медь.

Оловянные бронзы При сплавлении меди с оловом образуются твердые растворы. Эти сплавы очень склонны к ликвации из-за большого температурного интервала кристаллизации. Благодаря ликвации сплавы с содержанием олова выше 5 % имеют в структуре эвтектоидную составляющую $\Xi(\alpha+\delta)$, состоящую из мягкой и твердой фаз. Такое строение является благоприятным для деталей типа подшипников скольжения: мягкая фаза обеспечивает хорошую прирабатываемость, твердые частицы создают износостойкость. Поэтому оловянные бронзы являются хорошими антифрикционными материалами.

Оловянные бронзы имеют низкую объемную усадку (около 0,8 %), поэтому используются в художественном литье.

Наличие фосфора обеспечивает хорошую жидкотекучесть.

Оловянные бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

В *деформируемых бронзах* содержание олова не должно превышать 6 %, для обеспечения необходимой пластичности, БрОФ6,5-0,15.

В зависимости от состава деформируемые бронзы отличаются высокими механическими, антикоррозионными, антифрикционными и упругими свойствами, и используются в различных отраслях промышленности. Из этих сплавов изготавливают прутки, трубы, ленту, проволоку.

Литейные оловянные бронзы, БрО3Ц7С5Н1, БрО4Ц4С17, применяются для изготовления пароводяной арматуры и для отливок антифрикционных деталей типа втулок, венцов червячных колес, вкладышей подшипников.

Алюминиевые бронзы, БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4.

Бронзы с содержанием алюминия до 9,4 % имеют однофазное строение α – твердого раствора. При содержании алюминия 9,4...15,6 % сплавы системы медь – алюминий двухфазные и состоят из α – и γ – фаз.

Оптимальными свойствами обладают алюминиевые бронзы, содержащие 5...8 % алюминия. Увеличение содержания алюминия до 10...11 % вследствие появления λ – фазы ведет к резкому повышению прочности и сильному снижению пластичности. Дополнительное повышение прочности для сплавов с содержанием алюминия 8...9,5 % можно достичь закалкой.

Положительные особенности алюминиевых бронз по сравнению с оловянными:

- меньшая склонность к внутрикристаллической ликвации;
- большая плотность отливок;
- более высокая прочность и жаропрочность;
- меньшая склонность к хладоломкости.

Основные недостатки алюминиевых бронз:

- значительная усадка;
- склонность к образованию столбчатых кристаллов при кристаллизации и росту зерна при нагреве, что охрупчивает сплав;
- сильное газопоглощение жидкого расплава;
- самоотпуск при медленном охлаждении;
- недостаточная коррозионная стойкость в перегретом паре.

Для устранения этих недостатков сплавы дополнительно легируют марганцем, железом, никелем, свинцом.

Из алюминиевых бронз изготавливают относительно мелкие, но высокоответственные детали типа шестерен, втулок, фланцев литьем и обработкой давлением. Из бронзы БрА5 штамповкой изготавливают медали и мелкую разменную монету.

Кремнистые бронзы, БрКМц3-1, БрК4, применяют как заменители оловянных бронз. Они немагнитны и морозостойки, превосходят оловянные бронзы по коррозионной стойкости и механическим свойствам, имеют высокие упругие свойства. Сплавы хорошо свариваются и подвергаются пайке. Благодаря высокой устойчивости к щелочным средам и сухим газам, их используют для производства сточных труб, газо- и дымопроводов.

Свинцовые бронзы, БрС30, используют как высококачественный антифрикционный материал. По сравнению с оловянными бронзами имеют более низкие механические и технологические свойства.

Бериллиевые бронзы, БрБ2, являются высококачественным пружинным материалом. Растворимость бериллия в меди с понижением температуры значительно уменьшается. Это явление используют для получения высоких упругих и прочностных свойств изделий методом дисперсионного твердения. Готовые изделия из бериллиевых бронз подвергают закалке от 800°C, благодаря чему фиксируется при комнатной температуре пересыщенный твердый раствор бериллия в меди. Затем проводят искусственное старение при температуре 300...350°C. При этом происходит выделение дисперсных частиц, возрастают прочность и упругость. После старения предел прочности достигает 1100...1200 МПа.

Лекция 22

Композиционные материалы. Материалы порошковой металлургии: пористые, конструкционные, электротехнические

1. [Композиционные материалы](#)
2. [Материалы порошковой металлургии](#)
3. [Пористые порошковые материалы](#)
4. [Прочие пористые изделия.](#)
5. [Конструкционные порошковые материалы](#)
6. [Спеченные цветные металлы.](#)
7. [Электротехнические порошковые материалы](#)
8. [Магнитные порошковые материалы.](#)

Композиционные материалы

Композиционные материалы – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее.

Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку.

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется *матрицей*.

Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется *арматурой*.

Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твердостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина армирующий компонент можно использовать термин наполнитель.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

- с нуль-мерными наполнителями, размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;

- с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов:

- с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон, нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу;
- с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя, матов из нитевидных кристаллов, фольги в матрице в параллельных плоскостях;
- с трехосным (объемным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе компонентов композиционные материалы разделяются на четыре группы:

- композиционные материалы, содержащие компонент из металлов или сплавов;
- композиционные материалы, содержащие компонент из неорганических соединений оксидов, карбидов, нитридов и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из неметаллических элементов, углерода, бора и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из органических соединений эпоксидных, полиэфирных, фенольных и др.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

В композиционных материалах с нуль-мерным наполнителем наибольшее распространение получила металлическая матрица. Композиции на металлической основе упрочняются равномерно распределенными дисперсными частицами различной дисперсности. Такие материалы отличаются изотропностью свойств.

В таких материалах матрица воспринимает всю нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя препятствуют развитию пластической деформации. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц наполнителя.

Армирующими наполнителями служат частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов.

Дисперсионно упрочненные композиционные материалы получают методами порошковой металлургии или вводят частицы армирующего порошка в жидкий расплав металла или сплава.

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные частицами оксида алюминия (Al_2O_3). Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше $300^\circ C$, когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно упрочненные сплавы сохраняют эффект упрочнения до температуры $0,8 T_{пл}$.

Сплавы САП удовлетворительно деформируются, легко обрабатываются резанием, свариваются аргонодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают

полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Из них изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

В композиционных материалах с одномерными наполнителями упрочнителями являются одномерные элементы в форме нитевидных кристаллов, волокон, проволоки, которые скрепляются матрицей в единый монолит. Важно, чтобы прочные волокна были равномерно распределены в пластичной матрице. Для армирования композиционных материалов используют непрерывные дискретные волокна с размерами в поперечном сечении от долей до сотен микрометров.

Материалы, армированные нитевидными монокристаллами, были созданы в начале семидесятых годов для авиационных и космических конструкций. Основным способом выращивания нитевидных кристаллов является выращивание их из перенасыщенного пара (ПК-процесс). Для производства особо высокопрочных нитевидных кристаллов оксидов и других соединений осуществляется рост по П-Ж-К – механизму: направленный рост кристаллов происходит из парообразного состояния через промежуточную жидкую фазу.

Осуществляется создание нитевидных кристаллов вытягиванием жидкости через фильеры. Прочность кристаллов зависит от сечения и гладкости поверхности.

Композиционные материалы этого типа перспективны как высокожаропрочные материалы. Для увеличения к.п.д. тепловых машин лопатки газовых турбин изготавливают из никелевых сплавов, армированных нитями сапфира (Al_2O_3), это позволяет значительно повысить температуру на входе в турбину (предел прочности сапфировых кристаллов при температуре $1680^\circ C$ выше 700 МПа).

Армирование сопел ракет из порошков вольфрама и молибдена производят кристаллами сапфира как в виде войлока, так и отдельных волокон, в результате этого удалось удвоить прочность материала при температуре $1650^\circ C$. Армирование пропиточного полимера стеклотекстолитов нитевидными волокнами увеличивает их прочность. Армирование литого металла снижает его хрупкость в конструкциях. Перспективно упрочнение стекла неориентированными нитевидными кристаллами.

Для армирования композиционных материалов применяют металлическую проволоку из разных металлов: стали разного состава, вольфрама, ниобия, титана, магния – в зависимости от условий работы. Стальная проволока перерабатывается в тканые сетки, которые используются для получения композиционных материалов с ориентацией арматуры в двух направлениях.

Для армирования легких металлов применяются волокна бора, карбида кремния. Особенно ценными свойствами обладают углеродистые волокна, их применяют для армирования металлических, керамических и полимерных композиционных материалов.

Эвтектические композиционные материалы – сплавы эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в которых упрочняющей фазой выступают ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации. В отличие от обычных композиционных материалов, эвтектические получают за одну операцию. Направленная ориентированная структура может быть получена на уже готовых изделиях. Форма образующихся кристаллов может быть в виде волокон или пластин. Способами направленной кристаллизации получают композиционные материалы на основе алюминия,

магния, меди, кобальта, титана, ниобия и других элементов, поэтому они используются в широком интервале температур.

Полимерные композиционные материалы. Особенностью является то, что матрицу образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, пленок, стеклотекстолита.

Формирование полимерных композиционных материалов осуществляется прессованием, литьем под давлением, экструзией, напылением.

Широкое применение находят смешанные полимерные композиционные материалы, куда входят металлические и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Например, подшипники, работающие в условиях сухого трения, изготавливают из комбинации фторопласта и бронзы, что обеспечивает самосмазываемость и отсутствие ползучести.

Созданы материалы на основе полиэтилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон, обладающие высокими прочностью и жесткостью.

Материалы порошковой металлургии

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формируются изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются

1. возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;
2. значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %);
3. возможность получения материалов максимальной чистоты;
4. простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

Пористые порошковые материалы

Отличительной особенностью является наличие равномерной объемной пористости, которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

Антифрикционные материалы (пористость 15...30 %), широко применяющиеся для изготовления подшипников скольжения, представляют собой пористую основу, пропитанную маслом. Масло поступает из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся, не требуется подводить смазку извне. Это существенно для чистых производств (пищевая, фармацевтическая отрасли).

Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

Подшипники работают при скоростях трения до 6 м/с при нагрузках до 600 МПа. При меньших нагрузках скорости скольжения могут достигать 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06.

Для изготовления используются бронзовые или железные порошки с добавлением графита (1...3 %).

Разработаны подшипниковые спеченные материалы на основе тугоплавких соединений (боридов, карбидов и др.), содержащие в качестве твердой смазки сульфиды, селениды и гексагональный нитрид бора. Подшипники могут работать в условиях вакуума и при температурах до 500°C.

Применяют металлопластмассовые антифрикционные материалы: спеченные бронзографиты, титан, нержавеющие стали пропитывают фторопластом. Получаются коррозионностойкие и износостойкие изделия. Срок службы металлопластмассовых материалов вдвое больше, чем материалов других типов.

Фрикционные материалы (пористость 10...13 %) предназначены для работы в муфтах сцепления и тормозах. Условия работы могут быть очень тяжелыми: трущиеся поверхности мгновенно нагреваются до 1200°C, а материал в объеме – до 500...600°C. Применяют спеченные многокомпонентные материалы, которые могут работать при скоростях трения до 50 м/с на нагрузках 350...400 МПа. Коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7.

По назначению компоненты фрикционных материалов разделяют на группы:

а) основа – медь и ее сплавы – для рабочих температур 500...600°C, железо, никель и сплавы на их основе – для работы при сухом трении и температурах 1000...1200°C;

б) твердые смазки – предотвращают микросхватывание при торможении и предохраняют фрикционный материал от износа; используют свинец, олово, висмут, графит, сульфиты бария и железа, нитрид бора;

в) материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и др.

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10%, железо – 5...10 %, кремнезем или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Из фрикционных материалов изготавливают тормозные накладки и диски. Так как прочность этих материалов мала, то их прикрепляют к стальной основе в процессе изготовления (припекают к основе) или после (приклепывают, приклеивают и т.д.).

Фильтры (пористость 25...50 %) из спеченных металлических порошков по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация.

Они могут работать при температурах от –273°C до 900°C, быть коррозионностойкими и жаропрочными (можно очищать горячие газы). Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионностойких материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. Для удовлетворения запросов металлургической промышленности разработаны материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь.

Фильтрующие материалы выпускают в виде чашечек, цилиндров, втулок, дисков, плит. Размеры колеблются от дисков диаметром 1,5 мм до плит размерами 450 x 1000 мм. Наиболее эффективно применение фильтров из нескольких слоев с различной пористостью и диаметром пор.

Прочие пористые изделия.

“Потеющие сплавы” – материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. Благодаря испарению жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин).

Сплавы выпускаются на основе порошка нихроми с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа используются и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

Пеноматериалы – материалы с очень высокой пористостью, 95...98 %. Например, плотность вольфрама 19,3 г/см³, а пеновольфрама – всего 3 г/см³. Такие материалы используют в качестве легких заполнителей и теплоизоляции в авиационной технике.

Конструкционные порошковые материалы

Спеченные стали. Типовыми порошковыми деталями являются кулачки, корпуса подшипников, ролики, звездочки распределительных валов, детали пишущих и вычислительных машин и другие. В основном это слабонагруженные детали, их изготавливают из порошка железа и графита. Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латунью. Детали сложной конфигурации (например, две шестерни на трубчатой оси) получают из отдельных заготовок, которые насаживают одну на другую с натягом и производят спекание. Для изготовления этой группы деталей используют смеси железо – медь – графит, железо – чугун, железо – графит – легирующие элементы.

Особое место занимают шестерни и поршневые кольца. Шестерни в зависимости от условий работы изготавливают из железо – графита или из железо – графита с медью или легирующими элементами. Снижение стоимости шестерни при переходе с нарезки зубьев на спекание порошка составляет 30...80 %. Пропитка маслом позволяет обеспечить самосмазываемость шестерни, уменьшить износ и снизить шум при работе.

Спеченные поршневые кольца изготавливают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твердая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и

увеличивают содержание графита. Применение таких колец увеличивает пробег автомобильного двигателя, уменьшает его износ и сокращает расход масла.

Высоколегированные порошковые стали, содержащие 20 % хрома и 15 % никеля, используют для изготовления изделий, работающих в агрессивных средах.

Спеченные цветные металлы.

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы хорошо обрабатываются давлением.

Широко используются материалы на основе меди, например, изготавливают бронзу – графитные шестерни. Свойства спеченных латуней выше, чем литых, из-за большей однородности химического состава и отсутствия посторонних включений.

Спеченные алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

Керамикометаллические материалы (керметы) содержат более 50 % керамической фазы. В качестве керамической фазы используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Керметы отличаются высокими жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, прочностью. Они используются для изготовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (например, лопаток турбин, чехлов термопар). Частным случаем керметов являются твердые сплавы.

Электротехнические порошковые материалы

Электроконтактные порошковые материалы делятся на материалы для разрывных контактов и материалы для скользящих контактов.

Материалы разрывных контактов должны быть тепло- и электропроводными, эрозионностойкими при воздействии электрической дуги, не свариваться в процессе работы. Контактное сопротивление должно быть возможно меньшим, а критическая сила тока и напряжение при образовании дуги – возможно большими. Чистых металлов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Изготавливают контактные материалы прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжелонагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из смесей вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широко используют материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно – графитовые материалы.

Скользящие контакты широко используют в приборах, коллекторных электрических машинах и электрическом транспорте (токосъемники). Представляют собой пары трения, должны обладать высокими антифрикционными

свойствами, причем контакт должен быть мягче, чем контртело и не изнашивать его, так как заменить скользящий контакт проще, чем коллектор или привод. Для обеспечения антифрикционности, в состав смесей для скользящих контактов вводят твердые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты приборов изготавливают из серебра с графитом, серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, вольфрама с палладием.

Магнитные порошковые материалы.

Различают магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Магнитомягкие – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основным магнитомягким материалом – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом. Для повышения электросопротивления легируют кремнием, алюминием. Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Отдельно выделяется группа *магнитодиэлектриков* – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Таким материалам присущи высокое электросопротивление и минимальные потери на вихревые токи и на перемагничивание. Изготавливаются в результате смешивания, прессования и спекания, особенностью является то, что при нагреве частицы магнитного материала остаются изолированными и не меняют формы. За основу используют чистое железо, альсиферы.

Магнитотвердые материалы (постоянные магниты) – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой.

Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо – алюминий – никель (альни), железо – алюминий – никель – кобальт (альнико). После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля.

Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЛЕКЦИЯ №1

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. Сущность обработки металлов давлением
2. Виды обработки металлов давлением

3. Влияние обработки давлением на структуру и свойства

Обработка металлов давлением основана на их способности в определенных условиях пластически деформироваться в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размеров, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил. Упругая деформация характеризуется смещением атомов относительно друг друга на величину, меньшую межатомных расстояний, и после снятия внешних сил атомы возвращаются в исходное положение. При пластических деформациях атомы смещаются относительно друг друга на величины, большие межатомных расстояний, и после снятия внешних сил не возвращаются в свое исходное положение, а занимают новые положения равновесия.

Для начала перехода атомов в новые положения равновесия необходима определенная величина действующих напряжений, зависящая от межатомных сил и характера взаимного расположения атомов (типа кристаллической решетки, наличия и расположения примесей, формы и размеров зерен поликристалла и т. п.).

Так как сопротивление смещению атомов в новые положения изменяется не пропорционально смещению, то при пластических деформациях линейная связь между напряжениями и деформациями обычно отсутствует.

Напряжения, вызывающие смещение атомов в новые положения равновесия, могут уравниваться только силами межатомных взаимодействий. Поэтому под нагрузкой при пластическом деформировании деформация состоит из упругой и пластической составляющих, причем упругая составляющая исчезает при разгрузке (при снятии деформирующих сил), а пластическая составляющая приводит к остаточному изменению формы и размеров тела. В новые положения равновесия атомы могут переходить в

результате смещения в определенных параллельных плоскостях, без существенного изменения расстояний между этими плоскостями. При этом атомы не выходят из зоны силового взаимодействия и деформация происходит без нарушения сплошности металла, плотность которого практически не изменяется. Скольжение одной части кристаллической решетки относительно другой происходит по плоскостям наиболее плотного размещения атомов (плоскостям скольжения). В реальных металлах кристаллическая решетка имеет линейные дефекты (дислокации), перемещение которых облегчает скольжение.

Величина пластической деформации не безгранична, при определенных ее значениях может начаться разрушение металла.

На величину пластической деформации, которую можно достичь без разрушения (предельная деформация), оказывают влияние многие факторы, основные из которых — механические свойства металла (сплава), температурно-скоростные условия деформирования и схема напряженного состояния. Последний фактор оказывает большое влияние на значение предельной деформации. Наибольшая предельная деформация достигается при отсутствии растягивающих напряжений и увеличении сжимающих. В этих условиях (схема неравномерного всестороннего сжатия) даже хрупкие материалы типа мрамора могут получать пластические деформации. Схемы напряженного состояния в различных процессах и операциях обработки давлением различны, вследствие чего для каждой операции металла и температурно-скоростных условий существуют свои определенные предельные деформации.

Существенные преимущества обработки металлов давлением по сравнению с обработкой резанием — возможность значительного уменьшения отхода металла, а также повышения производительности труда, поскольку в результате однократного приложения усилия можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки. Кроме того, пластическая деформация сопровождается изменением физико-механических свойств

металла заготовки, что можно использовать для получения деталей с наилучшими эксплуатационными свойствами (прочностью, жесткостью, высокой износостойкостью и т. д.) при наименьшей их массе. Эти и другие преимущества обработки металлов давлением (отмеченные ниже) способствуют неуклонному росту ее удельного веса в металлообработке. Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением, а также применяемого оборудования позволяет расширять номенклатуру деталей, изготавливаемых обработкой давлением, увеличивать диапазон деталей по массе и размерам, а также повышать точность размеров полуфабрикатов, получаемых обработкой металлов давлением.

ВИДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Процессы обработки металлов давлением по назначению подразделяют на два вида:

для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей только обработкой резанием или с использованием предварительного пластического формоизменения, основными разновидностями таких процессов являются прокатка, прессование и волочение;

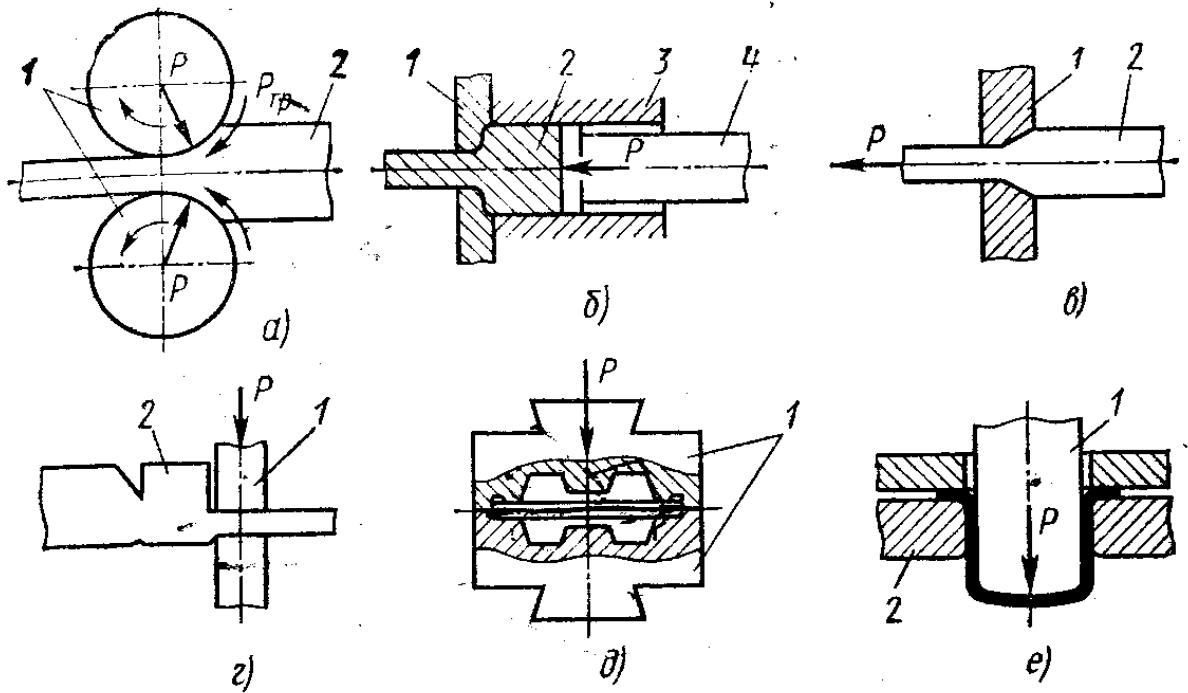


Рис. 1. Схемы основных видов обработки металлов давлением для получения деталей или заготовок (полуфабрикатов), имеющих приблизительно формы и размеры готовых деталей и требующих обработки резанием лишь для придания им окончательных размеров и получения поверхности заданного качества; основными разновидностями таких процессов являютсяковка и штамповка.

Прокатка (рис. 1, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками 1. Силами трения $P_{тр}$ заготовка втягивается между валками, а силы P , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

Прессование (рис. 1, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3, через отверстие матрицы 1, причем форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна отношению площадей поперечного сечения исходной заготовки и выдавленной части и перемещению давящего инструмента 4.

Волочение (рис. 1, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1; площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Ковкой (рис. 1, г) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия универсальным инструментом 1 на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента — штампа (для каждой детали изготавливают свой штамп). Различают объемную и листовую штамповку. При объемной штамповке сортового металла (рис. 1, д) на заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют специализированным инструментом — штампом 1, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

Листовой штамповкой (рис. 1, е) получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают холодную и горячую деформацию.

Холодная деформация характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (рис. 2, а).

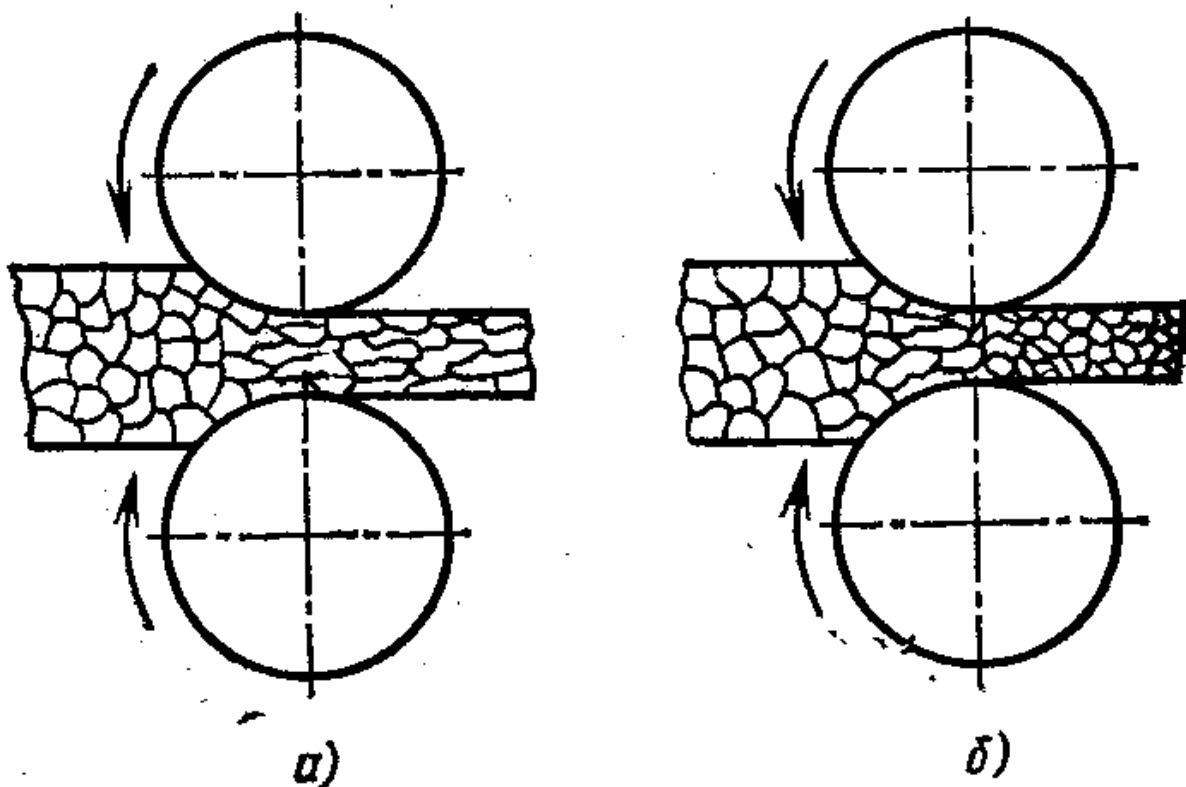


Рис. 2. Схемы изменения микроструктуры металла при деформации: а - холодной; б - горячей

При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называют упрочнение (наклепом). Изменение механических свойств состоит в том, что холодной пластической деформации по мере ее увеличения возрастают характеристики прочности, в то время как характеристики пластичности снижаются. Металл становится более твердым, менее пластичным. Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличения искажений кристаллической решетки в процессе холодного деформирования (накопления дислокаций у границ зерен).

Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не необратимы. Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивающей подвижность атомов в твердом металле без фазовых

превращений из множества центров растут новые зерна, заменяющие собой вытянутые, деформированные зерна. Так как в равномерном температурном поле скорость роста зерен по всем направлениям одинакова, то новые зерна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям.

Явление зарождения и роста новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при определенных температурах, называется рекристаллизацией. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуры плавления металла. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, причем время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки.

При температурах ниже температуры начала рекристаллизации, наблюдается явление, называемое возвратом. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но частично снимаются остаточные напряжения. Эти напряжения возникают из-за неоднородного нагрева или охлаждения (при литье и обработке давлением), неоднородности распределения деформаций при пластическом деформировании и т. д. Остаточные напряжения создают системы взаимно уравновешивающихся сил и находятся в заготовке, не нагруженной внешними силами. Снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механических свойств металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства. Так, например, в результате возврата значительно повышается электрическая проводимость, сопротивление коррозии холоднодеформированного металла.

Формоизменение заготовки при температуре выше температуры рекристаллизации сопровождается одновременным протеканием упрочнения и рекристаллизации.

Горячей деформацией называют деформацию, характеризующуюся таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме заготовки и

микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения (рис. 2, б).

Чтобы обеспечить условия протекания горячей деформации, приходится с увеличением ее скорости повышать температуру нагрева заготовки (для увеличения скорости рекристаллизации).

Если металл по окончании деформации имеет структуру, не полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется неполной горячей деформацией. Неполная горячая деформация приводит к получению неоднородной структуры, снижению механических свойств и пластичности, поэтому обычно нежелательна.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется в основном то, что горячую обработку применяют для изготовления крупных деталей, так как при этом требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

Следует учитывать, что при обработке давлением заготовок малых размеров (малой толщины) трудно выдержать необходимые температурные условия ввиду быстрого их охлаждения на воздухе и от контакта с более холодным инструментом.

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной деформации. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). В то же время при горячей деформации окисление заготовки более интенсивно (на поверхности образуется слой окалины), что ухудшает качество поверхности и точность получаемых размеров.

Холодная деформация без нагрева заготовки позволяет получать большую точность размеров и лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах. Отметим, что

обработка давлением без специального нагрева заготовки позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда. Влияние холодной деформации на свойства металла можно использовать для получения наилучших эксплуатационных свойств деталей, а управление изменением свойств в требуемом направлении и на желаемую величину может быть достигнуто выбором рационального сочетания холодной и горячей деформации, а также числа, и режимов термических обработок в процессе изготовления детали. Исходной заготовкой для начальных процессов обработки металлов давлением (прокатки, прессования) является слиток. Кристаллическое строение слитка неоднородно (кристаллиты различных размеров и форм). Кроме того, в нем имеется пористость, газовые пузыри и т. п. Обработка давлением слитка при нагреве его до достаточно высоких температур приводит к деформации кристаллитов и частичной заварке пор и раковин. Таким образом, при обработке давлением слитка может увеличиться и плотность металла.

В результате деформации кристаллитов и последующей рекристаллизации металл получает мелкозернистое строение, т. е. размеры зерен после рекристаллизации исчисляются в сотых или десятых долях миллиметра, причем эти размеры примерно одинаковы по всем направлениям (равноосная структура).

Если слиток загрязнен неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам кристаллитов, то в результате обработки давлением неметаллические включения вытягиваются в виде волокон по направлению наиболее интенсивного течения металла. Эти волокна выявляются травлением и видны невооруженным глазом в форме так называемой волокнистой макроструктуры (рис. 3, а). Полученная в результате обработки давлением литого металла волокнистая макроструктура не может быть разрушена ни термической обработкой, ни последующей обработкой давлением. Последняя в зависимости от характера деформирования может изменить лишь направление и форму волокон макроструктуры.

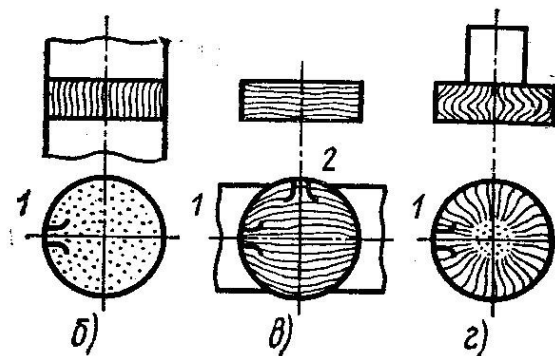
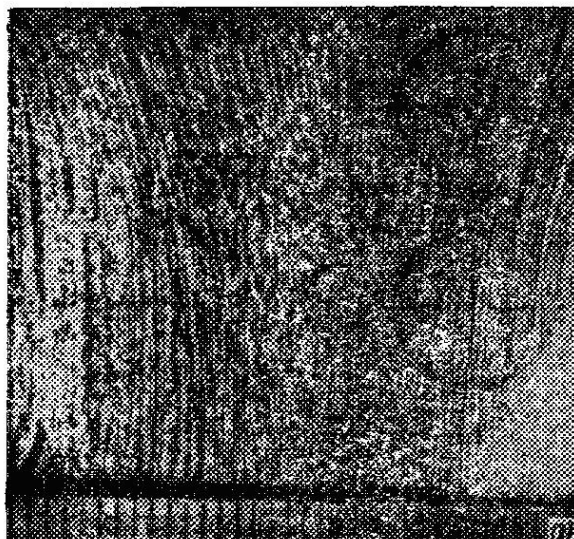


Рис. 3. Макроструктура металла после обработки давлением

Металл с явно выраженной волокнистой макроструктурой характеризуется анизотропией (векториальностью) механических свойств. При этом характеристики прочности (предел текучести, временное сопротивление и др.) в разных направлениях отличаются незначительно, а характеристики пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, то в готовой детали желательно получить такое расположение волокон, при котором она имела бы наилучшие свойства. При этом общие рекомендации следующие; необходимо, чтобы наибольшие растягивающие напряжения, возникающие в деталях в процессе работы, были направлены вдоль волокон, а если какой-либо элемент этой детали работает на срез, то желательно, чтобы перерезывающие силы действовали поперек волокон; необходимо чтобы волокна подходили к наружным поверхностям детали по касательной и не перерезались наружными поверхностями детали.

Выполнение этих требований не только повышает надежность детали (в том числе и при динамическом нагружении), но и улучшает другие эксплуатационные характеристики, например сопротивление истиранию.

Возможность воздействия обработкой давлением на расположение волокон, а следовательно, и на свойства деталей можно иллюстрировать следующим примером. В зубчатом колесе, изготовленном резанием из прутка (рис. 3, б), растягивающие напряжения, возникающие при изгибе зуба 1 действием сопряженного колеса, направлены поперек волокон, что понижает их надежность. При горячей штамповке зубчатого колеса из полосы (рис. 3, б) волокна по-разному ориентированы в различных зубьях относительно наибольших растягивающих напряжений: в зубе 1 — вдоль волокон, а в зубе 2 — поперек. Следовательно, зубья оказываются неравнопрочными.

При изготовлении зубчатого колеса осадкой (рис. 3, г) из отрезка прутка круглого сечения волокна получают почти радиальное направление. В этом случае все зубья равнопрочны, а наибольшие растягивающие напряжения, возникающие при изгибе, направлены почти вдоль волокон.

ЛЕКЦИЯ № 2

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1. [Сущность процесса прокатного производства](#)
2. [Продукция прокатного производства](#)
3. [Ковка. Сущность процесса](#)
4. [Горячая объемная штамповка. Сущность процесса](#)
5. [Способы горячей объемной штамповки](#)
6. [Методы производства машиностроительных профилей прессованием](#)
7. [Волочение](#)

Сущность процесса прокатного производства

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и

число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую.

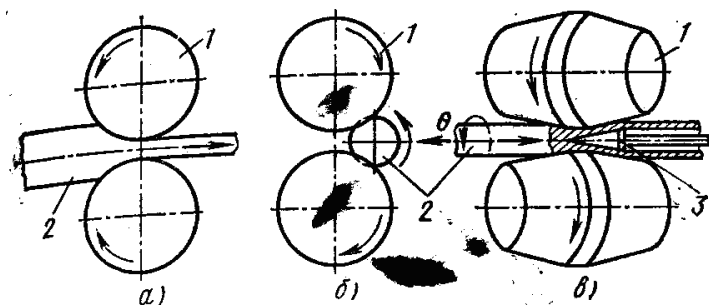


Рис. 4. Основные виды прокатки: 1-валки; 2-заготовка; 3-оправка

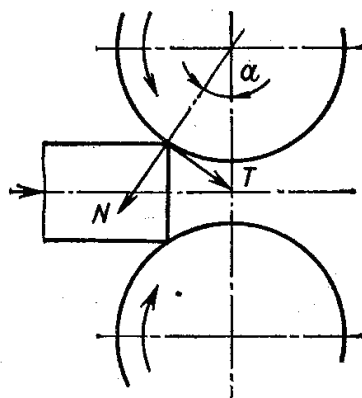


Рис. 5. Схема действия сил в момент захвата металла валками

При продольной прокатке (рис. 4, а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков.

При поперечной прокатке (рис. 4, б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2 и деформируют ее.

При поперечно-винтовой прокатке (рис. 4, в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения.

В процессе прокатки металл непрерывно втягивается в зазор между валками под действием сил трения между металлом и валками. Для осуществления процесса прокатки необходима определенная величина этих сил трения. Так, при наиболее распространенной продольной прокатке на заготовку

со стороны валков действуют нормальные силы N и сила трения T (рис. 5). Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками (по отношению к одному валку, так как система симметрична);

$$N \cdot \sin \alpha < T \cdot \cos \alpha.$$

Угол α называется углом захвата. Выразив силу трения как $T = f \cdot N$, где f — коэффициент трения, и подставив это выражение в условие захвата, получим

$$\sin \alpha < f \cdot \cos \alpha \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом, для осуществления захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен 15 — 24° , при холодной — 3 — 8° . При установившемся процессе прокатки коэффициент трения может быть примерно вдвое меньше.

В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Деформацию заготовки обычно определяют относительным обжатием, %:

$$\varepsilon_n = (H_0 - H_1) \cdot 100 / H_0,$$

где H_0 и H_1 — высота заготовки соответственно до и после прокати. Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно, когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый вытяжкой,

$$\mu = l/l_0 = F_0/F,$$

где l_0 и F_0 — первоначальные длина и площадь поперечного сечения; l и F — те же величины после прокатки.

Вытяжка при прокатке обычно составляет $1,1$ — $1,6$ за проход, но может быть и больше.

ПРОДУКЦИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Форму поперечного сечения прокатанной полосы называй профилем. Совокупность форм и размеров профилей, получаем прокаткой, называют

сортаментом. В СССР почти весь сортамент проката изготавливается в соответствии с ГОСТом (Государственным общесоюзным стандартом). В ГОСТах на сортамент проката приведены площадь поперечного сечения, размеры, масса 1 м длины филя и допустимые отклонения от номинальных размеров. Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды ката.

Сортовой прокат (рис.6, а) делят на профили простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.)

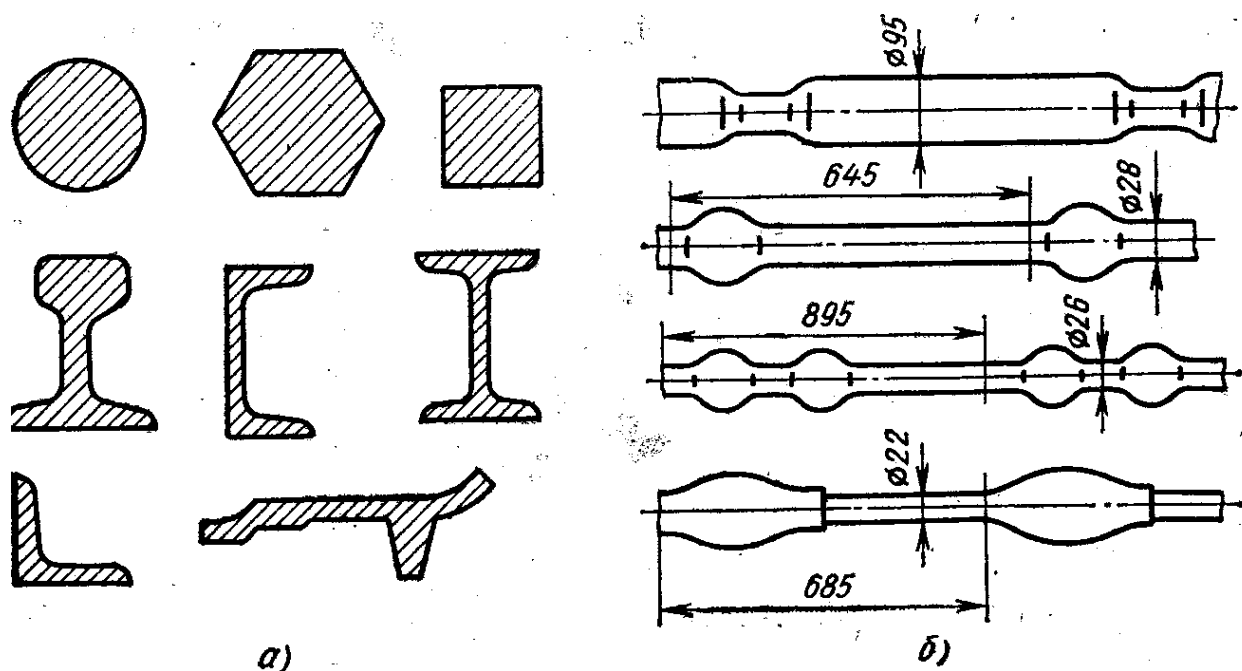


Рис. 6. Примеры профилей проката

Круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5 - 250 мм; шестигранную — с диаметром вписанного круга 6—100 мм; полосовую — шириной 10 — 200 мм и толщиной 4—60 мм.

Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили — круглый, квадратный, прямоугольный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жечь и т. д. Расширяется

производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовым покрытиями. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4—160 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют фольгой.

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30—650 мм с толщиной стенки 2—160 мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные — диаметром 5—2500 мм с толщиной стенки 0,5—16 мм из углеродистых и низколегированных сталей.

К специальным видам проката относят колеса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки (рис. 6, б).

КОВКА

СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Ковка — вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку укладывают на нижний боек и верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные) бойки, а также различный подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической работы. Эти заготовки называют коваными поковками, или просто поковками.

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжелых поковок (до 250 т) типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станков и т. д. Поковки меньшей массы (десятки и сотни килограммов) можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производствах ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовление специального инструмента (штампа) при небольшой партии одинаковых поковок

экономически невыгодно. Исходным заготовками дляковки тяжелых крупных поковок служат слиты массой до 320 т. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечений.

ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Горячая объемная штамповка — это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента штампа.

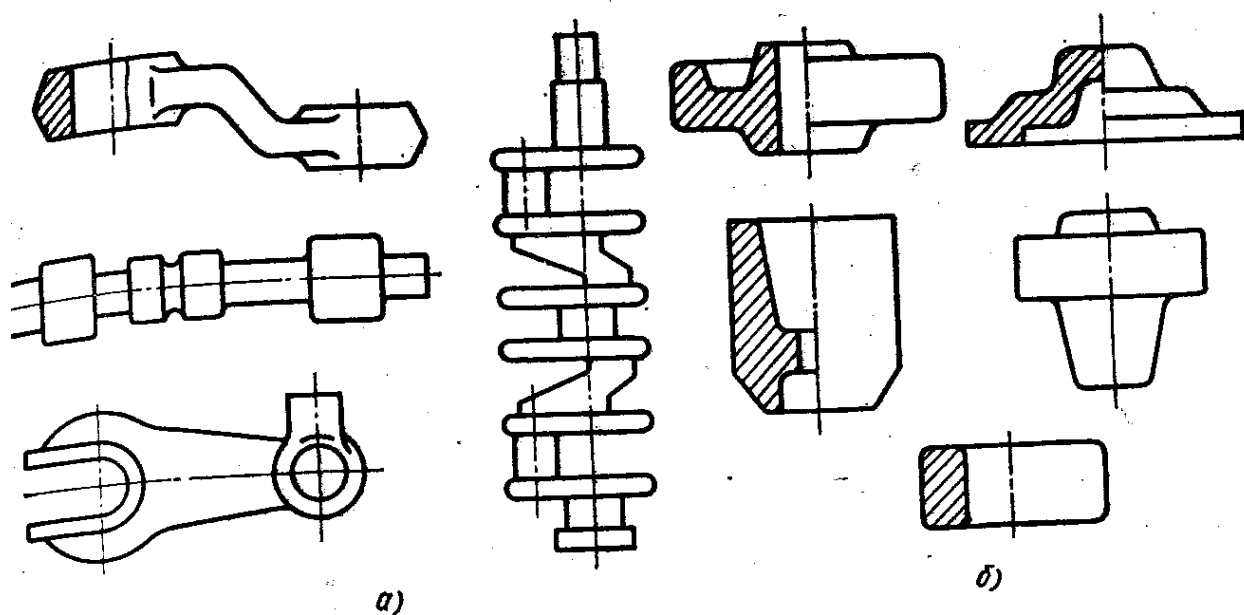


Рис.7. Штампованные поковки

Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации поковки.

В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический. При этом прутки разрезают на отдельные (мерные) заготовки, хотя иногда штампуют из прутка с последующим отделением поковки непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс-

ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т. д.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ. Горячей объемной штамповкой можно получать поковки сложной конфигурации без напусков, что при ковке невозможно. Допуски на штампованную поковку в 3 – 4 раза меньше, чем на кованую. Вследствие этого значительно сокращается объем последующей обработки резанием. Штампованные поковки обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями, и эта обработка может сводиться только к шлифованию.

Производительность штамповки значительно выше — десятки и сотни поковок в час.

В то же время штамп — дорогостоящий инструмент и пригоден только для изготовления какой-то одной, конкретной поковки. В связи с этим штамповка экономически целесообразна лишь при изготовлении достаточно больших партий одинаковых поковок.

Кроме того, для объемной штамповки поковок требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок. Поковки массой в несколько сот килограммов для штамповки считаются крупными. В основном штампуют поковки массой 20—30 кг и только в отдельных случаях — массой до 3 т.

Горячей объемной штамповкой изготавливают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных самолетов, железнодорожных вагонов, станков и т. д.

Конфигурация поковок чрезвычайно разнообразна, в зависимости от нее поковки обычно подразделяют на группы. Например, штампованные поковки, показанные на рис.7, можно разделить на две группы: удлиненной формы, характеризующиеся большим отношением длины к ширине (рис. 7, а), и короткие круглого или квадратного сечения (рис. 7, б).

СПОСОБЫ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Наличие большого разнообразия форм и размеров штампованных поковок, а также сплавов, из которых их штампуют, обуславливает существование

различных способов штамповки.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

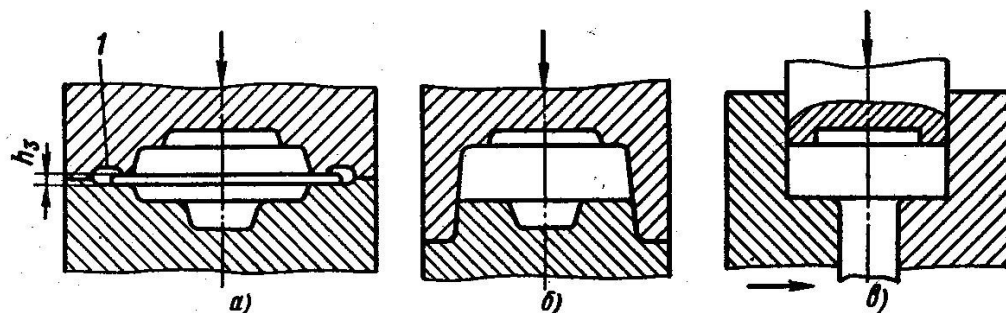


Рис.8. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах;

1-заусеченная канавка

Штамповка в открытых штампах (рис. 8, а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает заусенец (облой), который закрывает выход из полости штампа и заставляет металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в заусенец выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности заготовок по массе. Заусенец затем обрезается в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах получают поковки всех типов (см. рис. 7, а, б).

Штамповка в закрытых штампах (рис. 8, б, в) характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование заусенца в нем не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя — выступ (на прессах), или

наоборот (на молотах). Закрытый штамп может иметь не одну, а две взаимно; перпендикулярные плоскости разъема, т. е. состоять из трех частей (рис. 8, в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполнятся углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Следовательно, в этом случае процесс получения заготовки усложняется, поскольку отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность. Как правило, штамповкой в закрытых штампах получают поковки, показанные на рис. 7, б.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах — уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец. При штамповке в закрытых штампах металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, чем в открытых штампах. Это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРЕССОВАНИЕМ

В машиностроении применяют профили самого разнообразного сортамента, которые получают не только прокаткой, но и другими видами обработки металлов давлением: прессованием, волочением, профилированием листового металла.

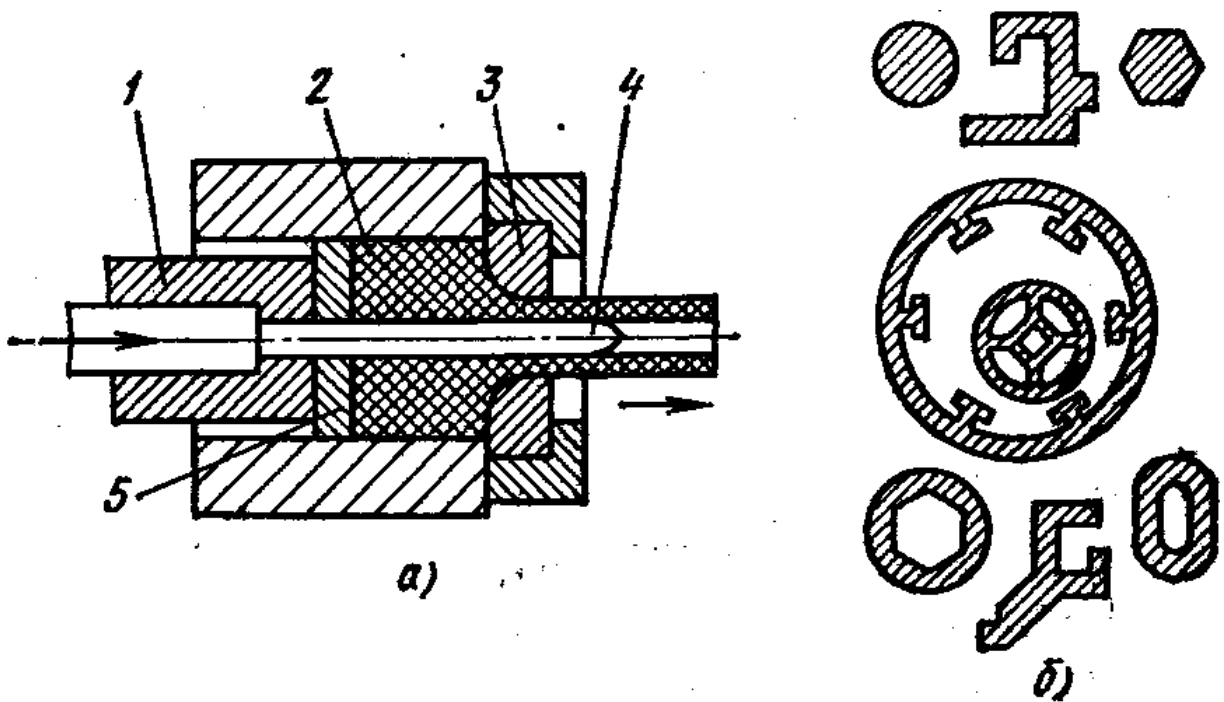


Рис. 9. Схема прессования полого профиля (а) и примеры прессованных профилей (б)

При прессовании металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие, соответствующее сечению прессуемого профиля. Этим процессом изготавливают не только сплошные профили, но и полые (рис. 9, а). В этом случае в заготовке необходимо предварительно получить сквозное отверстие. Часто отверстие прошивают на том же прессе. В процессе прессования при движении пуансона 1 с пресс-шайбой 5 металл заготовки 2 выдавливается в зазор между матрицей 3 и иглой 4. Прессование по рассмотренным схемам называется прямым. Значительно реже применяют обратное прессование, схема деформирования которого сходна со схемой обратного выдавливания.

Исходной заготовкой при прессовании служит слиток или прокат. Состояние поверхности заготовки оказывает значительное влияние на качество поверхности и точность прессованных профилей. Поэтому во многих случаях заготовку предварительно обтачивают на станке; после нагрева поверхность заготовки тщательно очищают от окалины.

Прессованием изготавливают изделия разнообразного сортамента из цветных металлов и сплавов, в том числе прутки диаметром 3 — 250 мм, трубы диаметром 20—400 мм со стенкой толщиной 1,5 — 12 мм и другие профили

(Рис. 3.48, б). Из углеродистых сталей 20, 35, 45, 50, конструкционных 30ХГСА, 40ХН, коррозионно-стойких 12Х18Н10Т и других высоколегированных сталей прессуют трубы с внутренним диаметром 30—160 мм со стенкой толщиной 2—10 мм, профили с полкой толщиной 2—2,5 мм и линейными размерами поперечных сечений до 200 мм.

При прессовании, так же как и при холодном выдавливании (схемы деформирования металла в этих процессах аналогичны), металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. Коэффициент, характеризующий степень деформации и определяемый как отношение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при прессовании составляет 10—50.

Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессованием можно получать профили сложных форм, которых не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением (в частности прокаткой). Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

К недостаткам прессования следует отнести большие отходы металла: весь металл не может быть выдавлен из контейнера и в нем остается так называемый пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля. Масса пресс-остатка может достигать 40 % массы, исходной заготовка (при прессовании труб большого диаметра).

ВОЛОЧЕНИЕ

При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов.

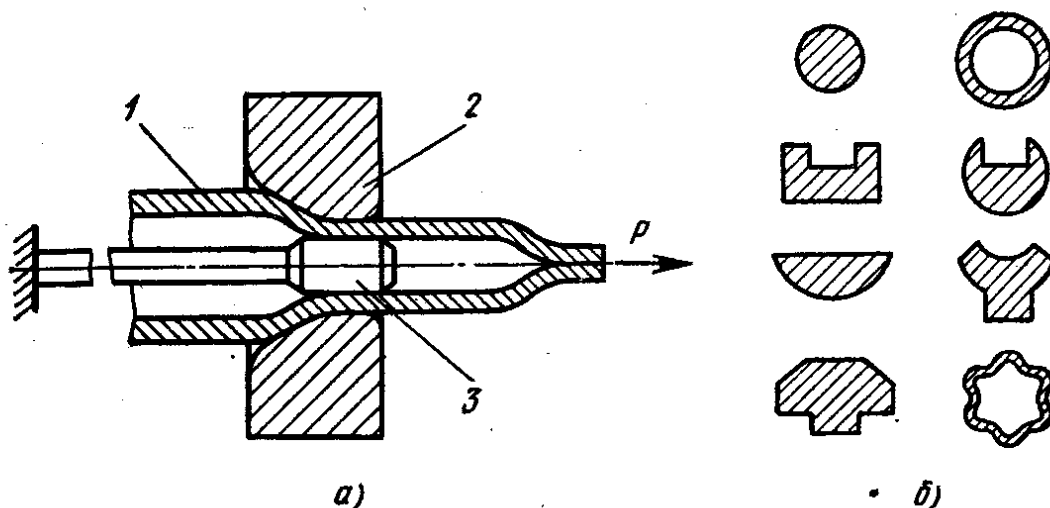


Рис. 10. Схема волочения трубы (а) и примеры профилей, получаемых волочением (б)

Волочение труб можно выполнять без оправки (для уменьшения внешнего диаметра) и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. 10, а показана схема волочения трубы 1 на короткой удерживаемой оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой и оправкой 3.

При волочении сплошного и полого профилей площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а следовательно, длина (из условия постоянства объема при пластической деформации) увеличивается. Количественно деформацию, так же как и при прокатке, можно характеризовать отношением полученной длины к исходной, т. е. вытяжкой μ .

Вследствие того, что к заготовке при волочении приложено тянущее усилие, в отверстии волоки (очаге деформации) и после выхода из нее металл испытывает растягивающие напряжения. Но если в очаге деформации, в котором действуют и сжимающие напряжения со стороны инструмента, металл пластически деформируется, то на выходящем из волоки конце прутка пластическая деформация недопустима. В противном случае пруток искажается или разрывается. Поэтому величина деформации за один проход ограничена, и вытяжка $\mu = 1,25 \div 1,45$. Поскольку тянущее усилие, приложенное к заготовке,

необходимо не только для деформирования металла, но и для преодоления сил трения металла об инструмент, эти силы трения стараются уменьшить применением смазки и полированием отверстия в волоке.

Обычно для получения необходимых профилей требуется деформация, превышающая допустимую за один проход, поэтому применяют волочение через ряд постепенно уменьшающихся по диаметру отверстий. Но поскольку волочение осуществляют в условиях холодной деформации, металл упрочняется. Для восстановления пластичности упрочненный волочением металл подвергают промежуточному отжигу.

Волочением обрабатывают различные сорта стали и цветные металлы: медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др. Сортамент изделий, изготовляемых волочением, очень разнообразен: проволока диаметром 0,002—5 мм и фасонные профили, примеры которых показаны на рис. 3.49, б (призматические и фасонные направляющие; сегментные, призматические и фасонные шпонки; шлицевые валики; опорные призмы и ножи и т. д.). Волочением калибруют стальные трубы диаметрами от капиллярных до 200 мм, стальные прутки диаметром 3—150 мм.

Волочение обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1 – 1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, получение очень тонкостенных профилей.

Лекция №3

ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. [Общие сведения](#)
2. [Формовочные смеси](#)
3. [Литейная технологическая оснастка](#)
4. [Литниковые системы](#)
5. [Прибыли](#)
6. [Ручная формовка](#)

Общие сведения

Сущность литейного производства состоит в получении отливок — литых металлических изделий путем заливки расплавленного металла или сплава в литейную форму.

Значение литейного производства исключительно велико. Нет ни одной отрасли машиностроения и приборостроения, где не применяли бы литые детали. В машиностроении масса литых деталей составляет около 50% массы машин и механизмов, в станкостроении — около 80%, в тракторостроении - около 60%. Это объясняется рядом преимуществ литейного производства по сравнению с другими способами получения заготовок или готовых изделий. Литьем получают детали как простой, так и очень сложной формы, которые нельзя или очень трудно получить другими способами. Во многих случаях это наиболее простой и дешевый способ получения изделий. Масса деталей колеблется от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Некоторые специальные способы литья позволяют получать отливки с высокой чистотой поверхности и точностью по размерам, что резко сокращает или исключает совсем их последующую механическую обработку. Кроме «традиционных» литейных сплавов: чугуна, стали, бронзы, литье все шире применяют для изготовления изделий из нержавеющей и жаропрочных сталей, магнитных и других сплавов с особыми физическими свойствами.

Широкому развитию литейного производства, особенно за последнее десятилетие, способствует совершенствование старых и появление новых способов литья, непрерывно повышающийся уровень механизации и автоматизации технологических процессов, специализация и централизация производства.

ФОРМОВОЧНЫЕ СМЕСИ

В литейном производстве наиболее распространено получение литых деталей в разовых формах, изготовленных из песчано-глинистых и других смесей.

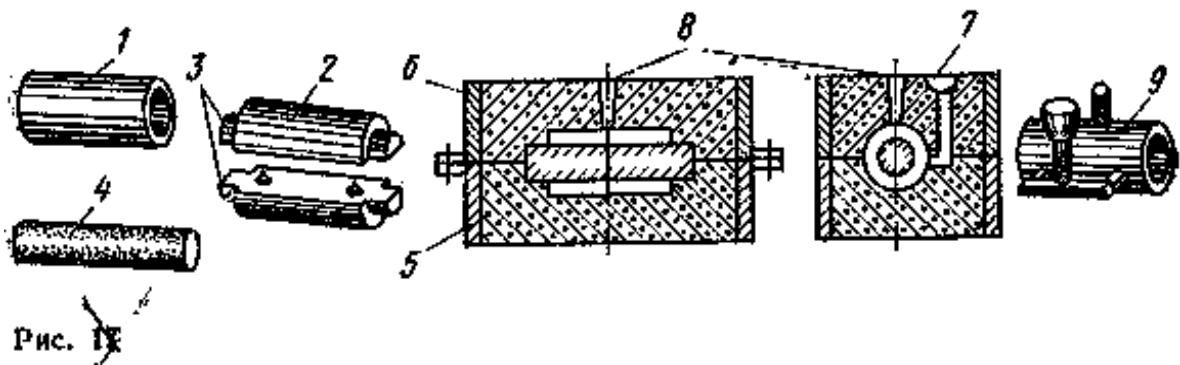


Рис.11 Отливка детали в разовой форме.
Литейная форма из формовочной смеси:

1 — отливаемая деталь; 2— -разъемная модель; 3 - стержневые знаки модели;
4 — стержень; 5,6 — верхняя и нижняя опоки; 7 — литниковая система;
8—выпор; 9 — отливка

Разовая форма пригодна только для одной отливки. При выемке (выбивке) готовой детали форму разрушают. На рисунке приведена литейная форма для получения втулки. Форма состоит из двух полуформ, полученных набивкой (уплотнением) формовочной смеси в металлические рамки—опоки 5,6. Для изготовления верхней и нижней полуформ используют разъемную модель 2. Отверстие в отливке получают с помощью стержня 4, отдельно изготовленного из стержневой смеси. При сборке форм стержень устанавливают в углубления (гнезда), образованные в форме знаками модели 3.

Металл заливают через литниковую систему. Воздух и выделяющиеся газы удаляются через выпор 8. Готовую отливку 9 извлекают из формы, отрезают литники, очищают поверхность от остатков формовочных материалов и направляют на механическую обработку.

ЛИТЕЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

В комплект литейной технологической оснастки для изготовления форм из формовочных смесей входят модели, модельные плиты, стержневые ящики и т. д. **Модели** — приспособления, при помощи которых в формовочной смеси получают отпечатки полости, соответствующие наружной конфигурации отливок. Отверстия и полости внутри отливок образуют при помощи стержней, устанавливаемых в формы при их сборке. Размеры модели делают больше, чем соответствующие размеры

отливки, на величину линейной усадки сплава, которая составляет для углеродистой стали 1,8—2%, для чугуна 0,8—1,2%. Если отливки подвергают механической обработке, то в соответствующих размерах модели учитывают величину припусков — слоя металла, удаляемого при механической обработке. Величина припуска зависит от размеров отливки, вида сплава. Она составляет, например, для мелкого чугунного литья 0,7—5 мм на сторону. Модели делают из древесины, металлических сплавов и пластмасс.

Деревянные модели изготавливают из плотной, хорошо просушенной древесины — сосны, бука, ясеня и др. Для предотвращения коробления модель изготавливают не из целого куска древесины, а склеивают из отдельных частей (брусочков) с тем, чтобы направление волокон было разным. Во избежание деформирования модели во влажных формовочных смесях и для лучшей вытяжки из формы их окрашивают; для чугунных отливок принят красный цвет, для стальных — синий.

Преимущество деревянных моделей — их дешевизна, простота изготовления; при больших размерах — небольшая масса; основной недостаток — недолговечность.

Металлические модели по сравнению с деревянными имеют значительно большую долговечность, высокую юность и чистую рабочую поверхность. Такие модели чаще всего делают из алюминиевых сплавов. Эти сплавы имеют малую плотность, не окисляются, хорошо обрабатываются резанием. Для уменьшения массы металлические модели обычно делают пустотелыми с ребрами жесткости внутри.

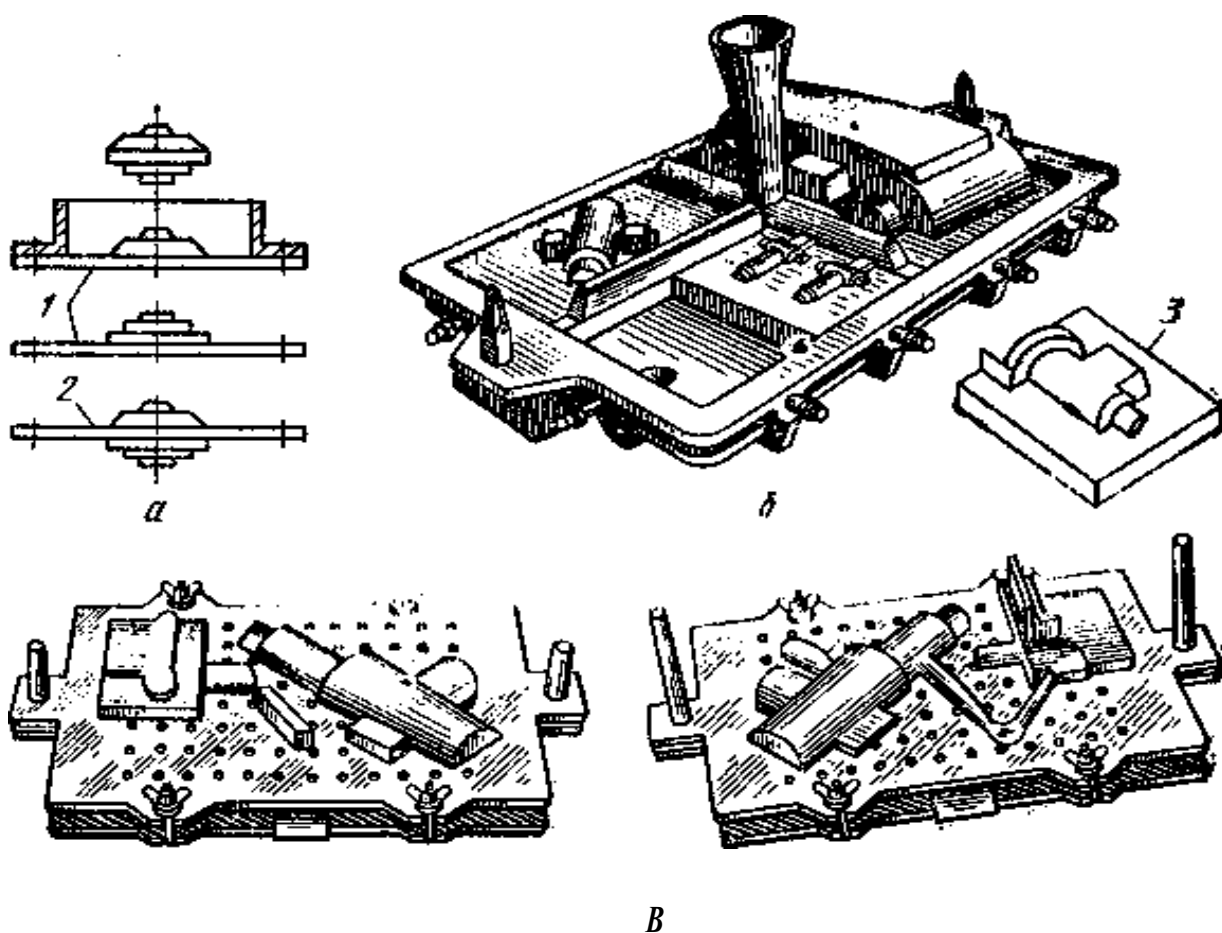


Рис.12 Модельные комплекты;

а — модельная плита односторонняя (1) и двухсторонняя (2); **б** — под модельная плита со сменными вкладышами 3; **в** — координатная плита

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют небольшую массу. Перспективным является применение моделей из вспененного полистирола, газифицирующегося при заливке металла в форму. Применение таких, неудаляемых из формы моделей упрощает формовку, способствует улучшению качества литья.

Для *машинной формовки* широко применяют модельные комплекты: металлические модельные плиты и быстросменную модельную оснастку-координатные подмодельные плиты и подмодельные плиты со сменными вкладышами.

Металлические модельные плиты с одной или несколькими моделями используют в массовом производстве. Такие плиты могут быть односторонними для раздельной формовки верхней и нижней полуформ, а также двусторонними, когда части моделей размещены на обеих сторонах плиты. Машинная формовка с применением металлических плит обеспечивает высокое качество отливок.

Координатные подмодельные плиты применяют, когда по условиям производства необходима частая смена моделей. Металлическая плита имеет большое число отверстий. Они обозначены по горизонталям буквами, по вертикалям цифрами и, таким образом, каждое из них имеет свой шифр, например Л5, Б8 и т. д. Модель быстро и точно устанавливают на плите по

направляющим штифтам и затем укрепляют на плите при помощи болтов. **Подмодельные плиты** со сменными вкладышами (см. рис. 12, б) позволяют произвести очень быструю смену моделей. Они состоят из металлической рамки и сменных металлических или деревянных вкладышей (иногда координатных) с прикрепленными к ним моделями. Конструкция плит предусматривает быструю смену и надежное крепление вкладышей.

Стержневые ящики для изготовления стержней должны обеспечивать равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Как и модели, стержневые ящики имеют литейные уклоны, при назначении их размеров учитывают величину усадки сплава и, если требуется, также и припуска на механическую обработку. Стержневые ящики делают из тех же материалов, что и модели. По конструкции стержневые ящики могут быть неразъемными (вытряхными) и разъемными (рис. 13). Ящики для изготовления стержней из смесей горячего затвердевания имеют электрические или газовые нагреватели.

Опоки — прочные металлические рамы различной формы, предназначенные для изготовления литейных полуформ из формовочных смесей (рис. 14). Опоки изготавливают из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов. Они могут быть цельнолитыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Стенки опок часто делают с отверстиями для уменьшения их веса, удаления газов из формы при заливке и для лучшего сцепления формовочной земли с опокой. Для удержания уплотненной делают внутренние ребра. Соединяют опоки штырями и центрирующими отверстиями в приливах. Для скрепления опок применяют скобы или другие приспособления.

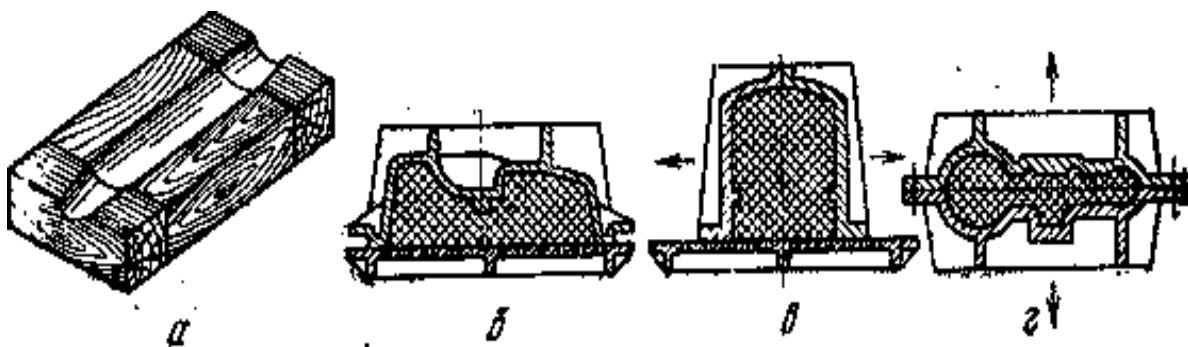


Рис. 13. Стержневые ящики:

а -деревянный (половина); металлические; б — неразъемный (вытряхной)
в — с вертикальным разъемом; г — с горизонтальным разъемом

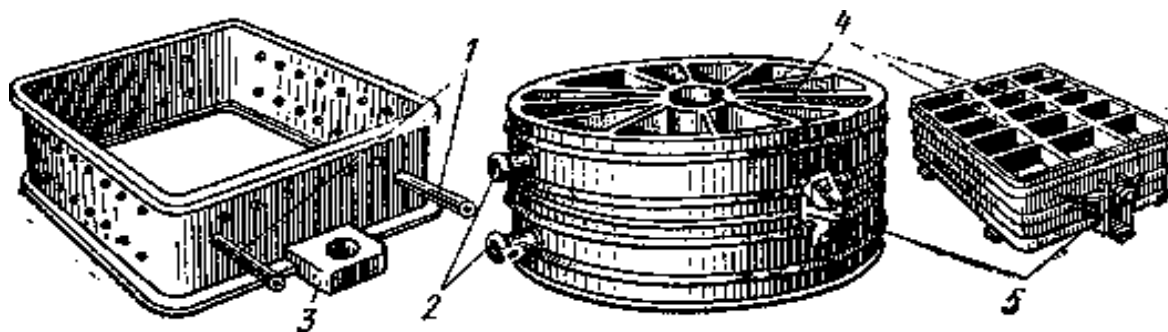


Рис.14. Опоки:

- 1 - ручка; 2 - цапфа; 3 – центрирующее отверстие;
4 –внутренние ребра; 5 – скрепленный опок.

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Литейную форму заливают расплавом через литниковую систему. Литниковой системой называют совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из ковша в полость формы. Литниковая система должна обеспечить непрерывное поступление расплава и форму, питание отливки для компенсации усадки, предотвращать разрушение формы, попадание шлака и воздуха со струей расплава.

Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели (рис. 15). Чаша уменьшает размывающее действие струи расплава, задерживает всплывающий шлак.

Для лучшего задержания шлака в литниковой системе для чугунного литья выдерживают следующее соотношение величины сечения стояка, шлакоуловителя и питателей: $F_{ст} > F_{шл} > F_{пит}$.

На верхних частях средних и крупных отливок делают выпоры — каналы для выхода из формы воздуха и газов и всплывающих неметаллических включений. Они содействуют нормальной усадке застывающего сплава.

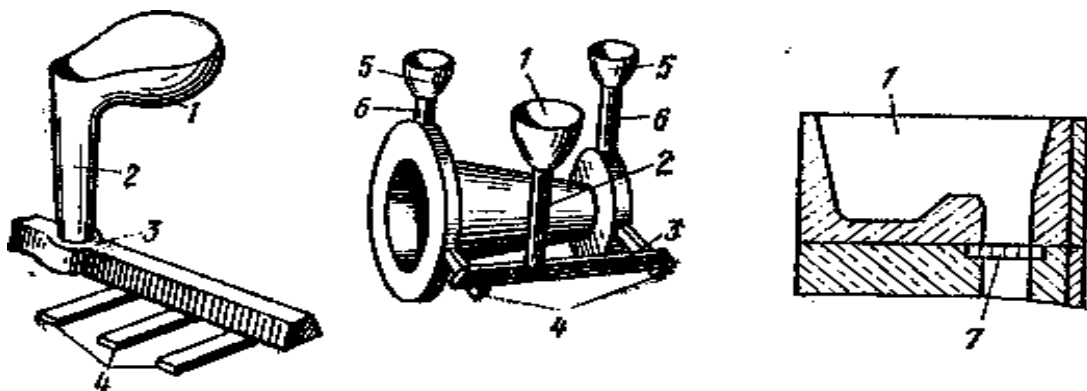


Рис. 15. Элементы литниковой системы:

- 1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — питатели; 5, 6 — чаша и стояк выпоров (прибылей); 7 — фильтр из специальной Стеклоткани

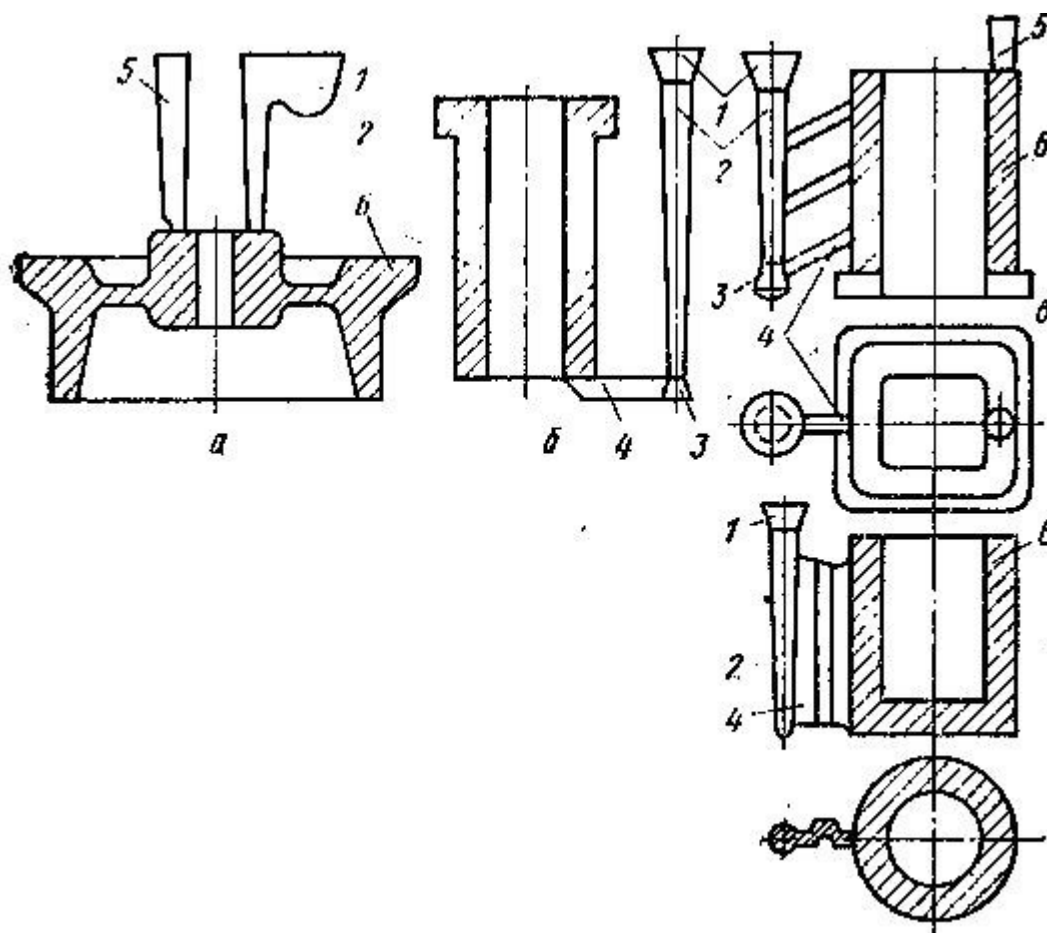


Рис. 16. Типы литниковых систем:

а - верхняя; б - сифонная; в - ярусная; г - вертикально-щелевая: 1 - чаша; 2 - стояк; 3 - литниковый ход; 4 - питатель; 5 - выпор; 6 - отливка.

Литниковые системы в зависимости от формы, размера отливки, состава и свойств литейного сплава имеют различное, иногда сложное устройство (рис. 16).

Верхняя литниковая система наиболее проста. Ее применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струей расплава, разбрызгивание и окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в теле отливки.

Нижнюю (или сифонную) литниковую систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом. Вместе с тем эта система более сложна.

Ярусная литниковая система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх и ее применяют для крупных отливок. Недостатки ярусной литниковой системы — сложность в изготовлении и значительный расход расплава. Ее разновидность — вертикально-щелевая система — предназначена манным образом для цветных сплавов.

Для лучшего задержания шлаковых включений в литниковые чаши или другие элементы литниковой системы иногда устанавливают фильтры,

например керамические сетки. С их помощью можно отделить относительно крупные шлаковые частицы.

Чрезвычайно перспективным способом тонкой очистки металлических расплавов в литниковых системах является фирам-процесс (фильтрационное рафинирование металлов), при котором фильтрующий узел делают из специальной стеклоткани (см. рис.15). При фирам-процессе значительно повышается чистота металла и, как следствие, качество отливок, уменьшается брак, что в целом дает значительный экономический эффект. Этот способ используют на многих предприятиях для отливок из серого и высокопрочного чугуна, бронзы и других сплавов.

ПРИБЫЛИ

Назначение прибылей — получение отливок без усадочных раковин и пористости, которые могут образовываться вследствие уменьшения объема расплава при его затвердевании. Прибыли размещают у массивных частей отливки, где усадка проявляется наиболее значительно.

Прибыли различают по их геометрической форме, месту расположения, условиям питания металлом тела отливки и т. д. Выбор рациональной прибыли зависит от формы, размеров, массы отливки, величины усадки сплава и других условий. Правильность расчета прибылей проверяют экспериментальными исследованиями структуры металла. Некоторые типы прибылей показаны на рис. 186.

Открытые прибыли прямого питания применяют для крупных стальных отливок, производя иногда доливку, по мере снижения уровня металла. Такая прибыль служит также выпором, в нее могут всплывать частицы формовочной смеси и другие загрязнения.

Во многих случаях применяют **закрытые прибыли**, дающие экономию металла. Например, для ответственных стальных отливок с массой 100 — 500 кг и толщиной стенок до 30 мм технологический выход годного составляет при открытых прибылях 56—64%, при закрытых 61 — 69%. Наименьший необходимый объем имеют прибыли шаровой формы, наибольший — конический

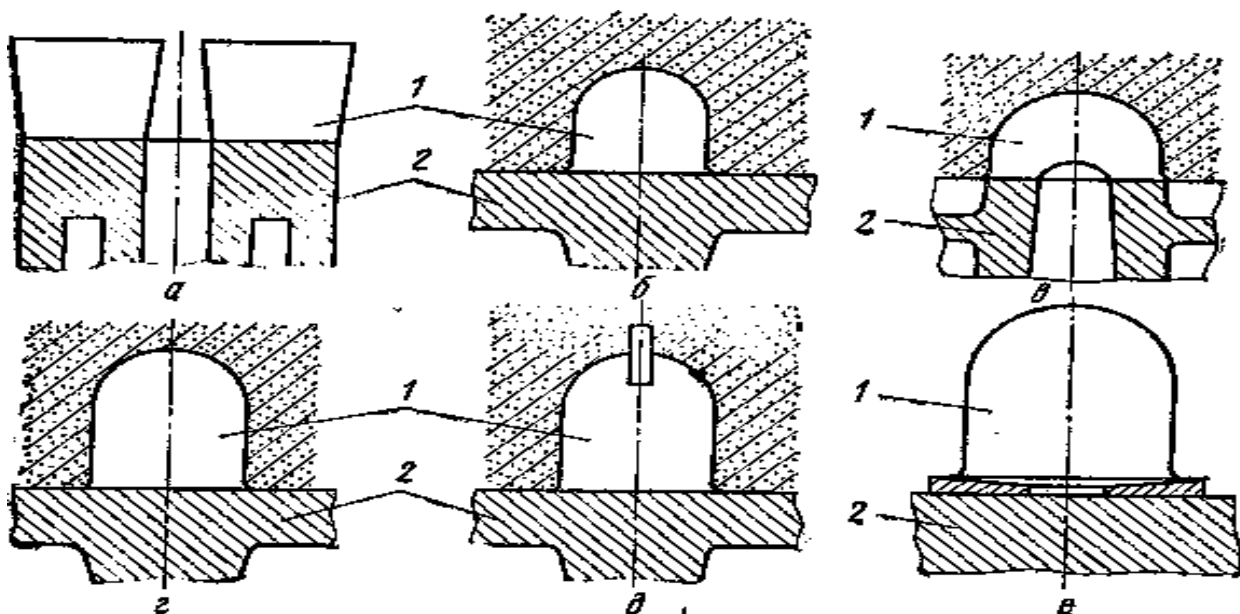


Рис.17. Прибыли.

а — открытая коническая; б — закрытая полушаровая; в — закрытая шаровая;
 г — работающая под атмосферным давлением; д — работающая под газовым давлением; е — легкоотделяемая

В закрытых прибылях, действующих под атмосферным давлением, создаются благоприятные условия для образования выгодно расположенных усадочных раковин и обеспечения плотной структуры отливки. Атмосферное давление создают, устанавливая в полость прибыли специальные газопроницаемые стержни из песчано-масляных смесей.

Прибыли, действующие под давлением газов, впервые разработаны советскими исследователями П. И. Яшмановым, А. А. Рыжиковым и др. В полость прибыли помещают в специальном патроне заряд газотворного вещества, обычно мел с добавками кокса. Патрон устроен так, что заряд начинает разлагаться после образования на поверхности прибыли тонкой твердой корочки металла. Выделяющиеся газы создают давление, вытесняя жидкий металл в тело отливки.

Для получения *легко отделяемых прибылей* (приоритет П. А. Иванова) применяют разделительные пластины (стержни-пластины, стержни-диафрагмы), например, как показано на рис. 17, е, которые изготавливают из шамотно-глинистых смесей.

РУЧНАЯ ФОРМОВКА

Машинная формовка — главный способ изготовления форм и отечественном литейном производстве. Доля ручной формовки составляет менее 8% отливок по массе и непрерывно сокращается.

Ручная формовка связана с тяжелой и трудоемкой работой, что приводит к низкой производительности. Этот способ формовки еще находит некоторое применение для получения мелких и средних отдельных отливок или небольшой их партии. Более важное значение ручная формовка имеет в производстве

крупных отливок в почву (в кессонах), формы для которых трудно или невозможно изготовить методами машинной формовки.

Формовка в двух опоках по разъемной модели наиболее распространенный способ ручной формовки в производстве мелких и средних отливок — показана на рис. 18. Для изготовления нижней полуформы на подмодельный щиток устанавливают половину модели 3, опоку 2, засыпают и уплотняют трамбовкой сначала облицовочную, а затем наполнительную смесь; в уплотненной смеси специальной иглой делают газоотводные (вентиляционные) наколы. Затем опоку поворачивают на 180° (см. рис. 18,в), устанавливают по шипам вторую половину модели, модели стояка и выпора. После уплотнения смеси делают вентиляционные наколы и вынимают модели стояка и выпора; затем опоку снимают и вынимают половинки модели (специальным приспособлением).

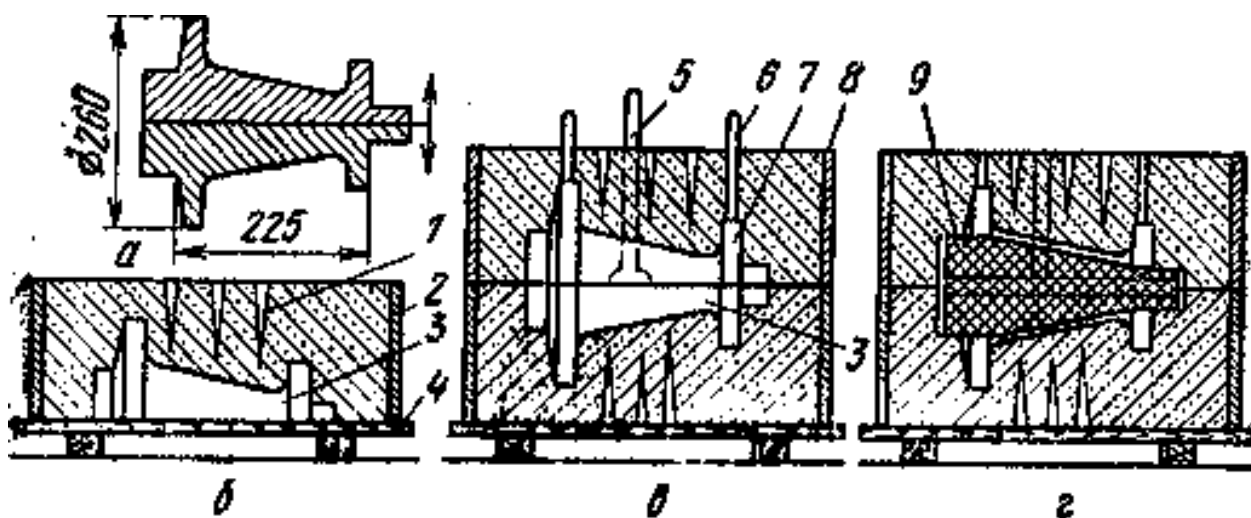


Рис. 18. Схема формовки в двух опоках по разъемной модели:

- а — модель; б, в — изготовление нижней и верхней полуформ; г- собранная форма;
 1 — вентиляционные наколы; 2 — нижняя опока; 3 — нижняя половина модели;
 4 — подмодельный щиток; 5 — модель стояка; 6 — модели выпоров; 7 — верхняя
 половина модели; 8 — верхняя опока; 9 — стержень

В нижней полуформе прорезают питатель — канал, соединяющий стояк литниковой системы с телом отливки. Для удаления случайных частиц формовочной смеси полуформы обдувают воздухом и на их внутреннюю поверхность наносят тонкий слой припыла (для сухих форм — формовочной краски). При сборке формы в нее устанавливают отдельно изготовленный стержень.

Формовка по шаблону также находит некоторое применение в производстве отдельных средних и крупных отливок относительно простой формы, поверхности которых можно оформить вращением шаблона — профильной доски. Сущность изготовления формы поясняет рис. 19.

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона оформляют наружную поверхность отливки и используют ее как модель для формовки в

опоке верхней полуформы. Затем удаляют опоку, вторым шаблоном оформляют нижнюю полуформу, снимая слой смеси, по величине равный толщине стенки отливки.

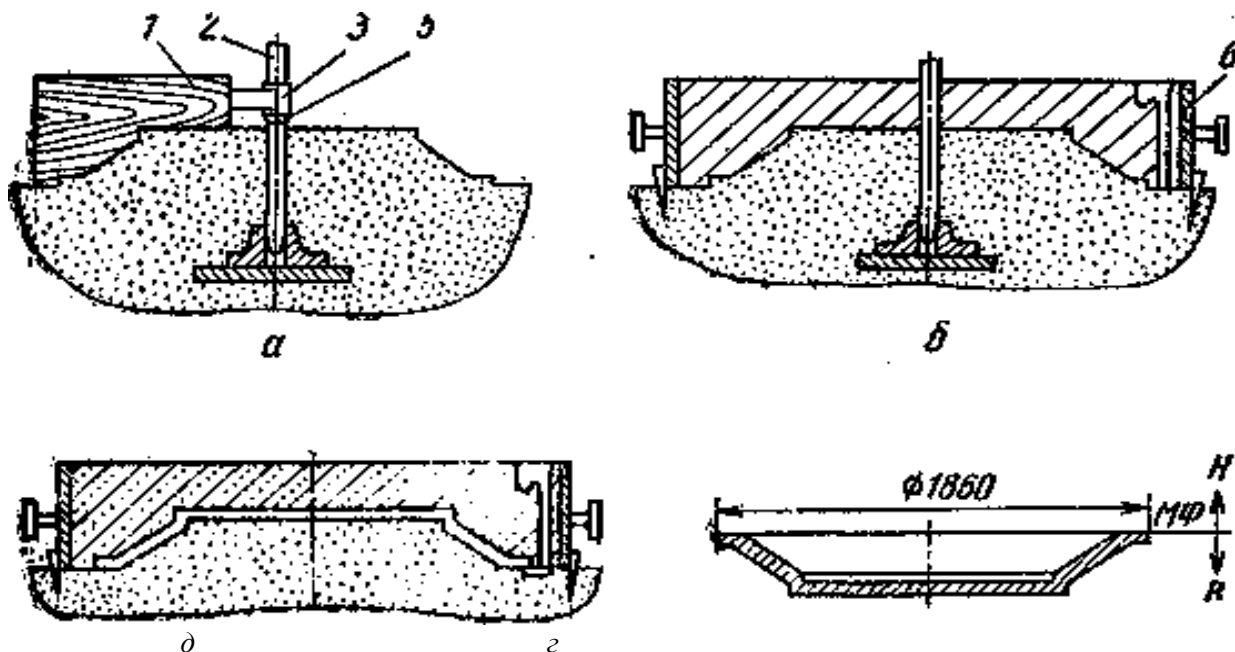


Рис. 19. Схема формовки по шаблону:

a — изготовление модели из формовочной смеси; *б* — изготовление верхней полуформы в опоке; *в* — собранная форма; *г* — отливка.

Лекция № 4

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ

1. [Литье в оболочковые формы](#)
2. [Литье по выплавляемым моделям](#)
3. [Литье в кокиль](#)
4. [Литье под давлением](#)
5. [Центробежное литье](#)

Точность геометрических размеров, шероховатость поверхности отливок, полученных в песчаных формах, во многих случаях не удовлетворяет требованиям современной техники. Поэтому быстрыми темпами развиваются специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям,

кокильное, под давлением, центробежное и другие, позволяющие получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключаящие ее, обеспечивают высокую производительность труда и т. д.

1. ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Оболочковые формы (разъемные, тонкостенные), изготавливают следующим образом: металлическую модельную плиту 1, нагретую до температуры 200—250 °С, закрепляют на опрокидывающем бункере 2 (рис. 20, а) с формовочной смесью 3 и поворачивают его на 180° (рис. 20, б). Формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка (93—96 %) и термореактивной смолы ПК-104 (4—7 %), насыпается на модельную плиту и выдерживается 10—30 с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, склеивает песчинки с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5—20 мм в зависимости от времени выдержки. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 20, в), излишки формовочной смеси ссыпаются на дно бункера, а модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и нагревается в печи при температуре 300—350 °С в течение 1—1,5 мин, при этом термореактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели специальными толкателями 5 (рис. 20, г). Аналогично изготавливают и вторую полуформу.

Готовые оболочковые полуформы склеивают быстротвердеющим клеем на специальных прессах, предварительно установив в них литейные стержни, или скрепляют скобами. Кроме оболочковых форм этим способом изготавливают оболочковые стержни, используя нагреваемые стержневые ящики. Оболочковые формы и стержни изготавливают на одно- и многопозиционных автоматических машинах и автоматических линиях.

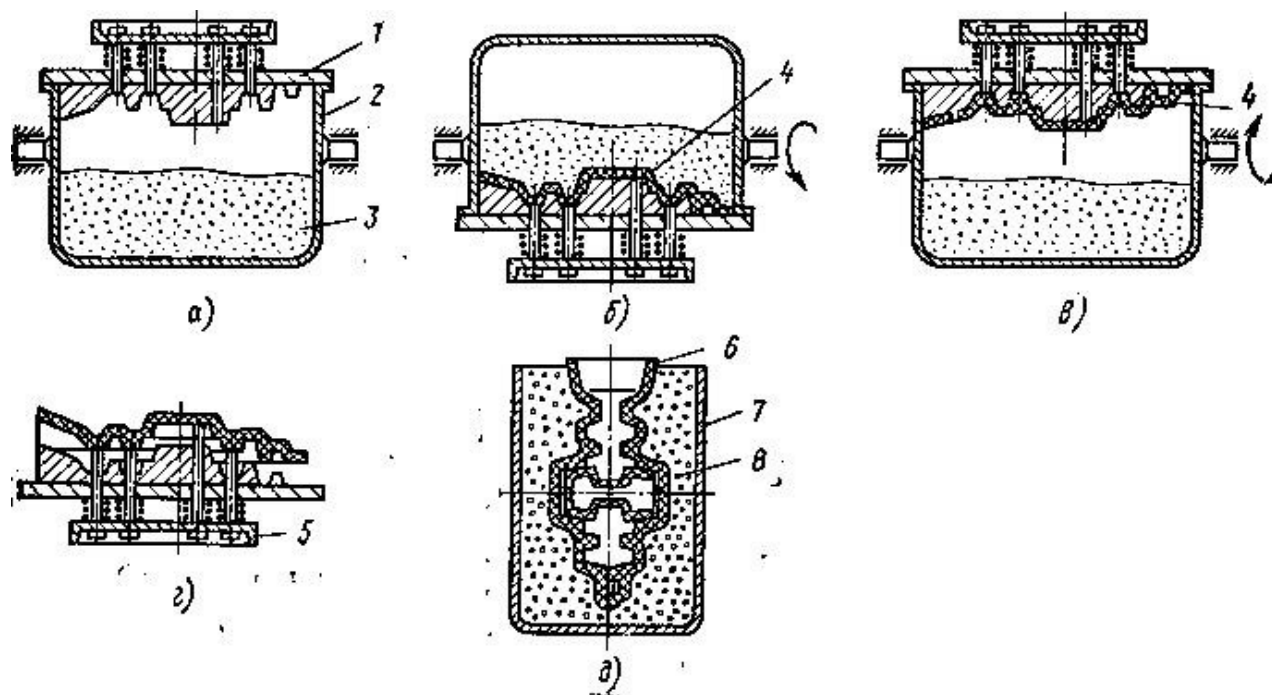


Рис.20. Последовательность операций формовки при литье в оболочковые формы

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы *б* помещают в опоки-контейнеры *7* и засыпают кварцевым песком или металлической дробью *8* (рис. 20, *д*) для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава.

Выбивку отливок проводят на специальных выбивных или вибрационных установках. При очистке отливок удаляют заусенцы, зачищают на шлифовальных кругах места подвода питателей и затем их подвергают дробеструйной обработке.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, так как формовочная смесь, обладая высокой подвижностью, дает возможность получать четкий отпечаток модели. Точность отпечатка не нарушается потому, что оболочка снимается с модели без расталкивания. Повышенная точность формы позволяет в 2 раза снизить припуски на механическую обработку отливок. Применяя мелкозернистый кварцевый песок для форм, можно снизить шероховатость поверхности отливок. Высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов и т. д. В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3—15 мм и массой 0,25—100 кг для автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин из чугуна, углеродистых сталей, сплавов цветных металлов.

2. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Этим способом отливки получают путем заливки расплавленного металла в формы, изготовленные по выплавляемым моделям многократным погружением в керамическую суспензию с последующими обсыпкой и отверждением.

Разовые выплавляемые модели изготовляют в пресс-формах из модельных составов, состоящих из двух или более легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, жирных кислот, церезина и др.).

Модельный состав в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс-формы 1 (рис. 21, а). После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рис. 21, б) выталкивается в ванну с холодной водой. Затем модели собирают в модельные блоки 3 (рис. 21, в) с общей литниковой системой. В один блок объединяют 2—100 моделей.

Керамическую суспензию приготавливают тщательным перемешиванием огнеупорных материалов (пылевидного кварца, электрокорунда и др.) со связующим — гидролизованным раствором этил-силиката.

Формы по выплавляемым моделям изготовляют погружением модельного блока 3 в керамическую суспензию 5, налитую в емкость 4 (рис. 21, з) с последующей обсыпкой кварцевым песком 7 в специальной установке 6 (рис. 21, д). Затем модельные блоки сушат

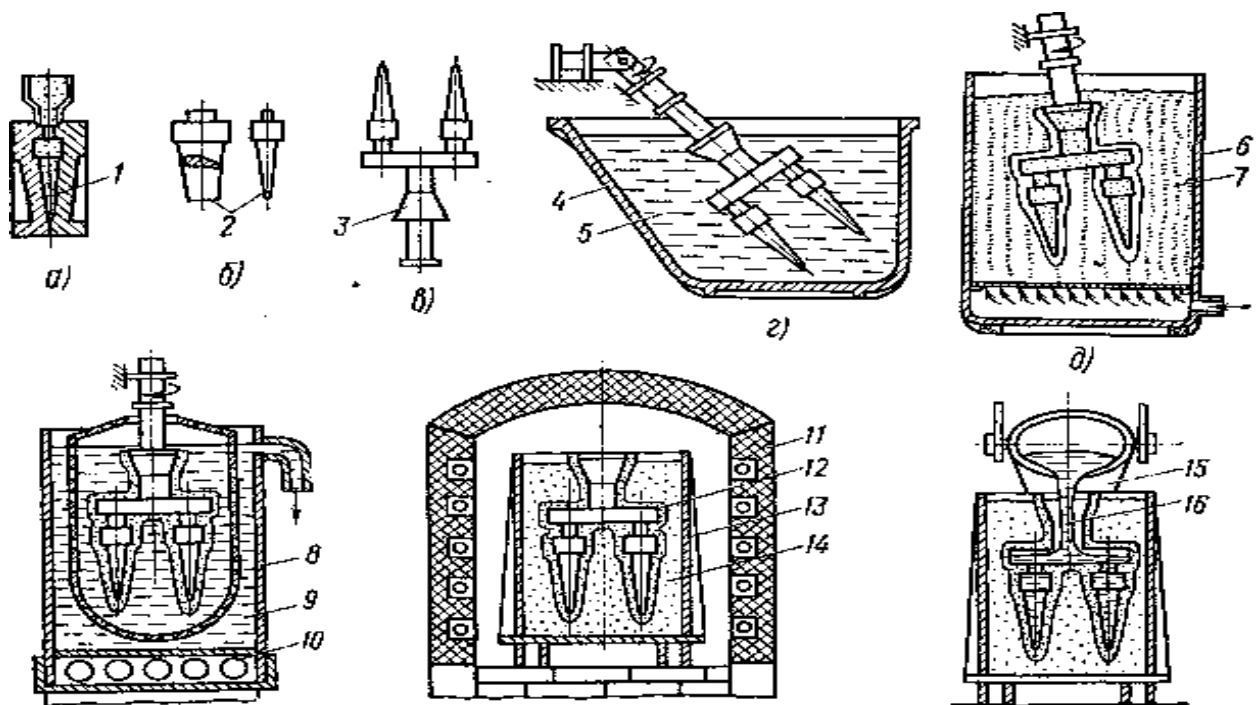


Рис.21. Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям

2—2,5 ч на воздухе или 20—40 мин в среде аммиака. На модельный блок наносят четыре—шесть слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют выплавлением в горячей воде. Для этого их

погружают на несколько минут в бак 8, наполненный водой 9, которая устройством 10 нагревается до температуры 80—90 °С (рис.21, е). При выдержке модельный состав расплавляется, всплывает на поверхность ванны, откуда периодически удаляется для нового использования. После извлечения из ванны оболочки промывают водой и сушат в шкафах в течение 1,5—2 ч при температуре 200 °С. Затем оболочки 12 ставят вертикально в жаростойкой опоке 13 и вокруг засыпают сухой кварцевый песок 14 и уплотняют его, после чего форму направляют в электрическую печь 11 (рис. 21, ж), в которой ее прокаливают не менее 2 ч при температуре 900—950 °С. При прокатке частички связующего спекаются с частичками огнеупорного материала, испаряется влага, выгорают остатки модельного состава. Формы сразу же после прокатки (горячими) заливают расплавленным металлом 16 из ковша 15 (рис. 21, з).

После охлаждения отливки форма разрушается. Отливки на обрезных прессах или другими способами отделяются от литников и для окончательной очистки направляются на химическую очистку в 45 %-ном водном растворе едкого натра, нагретом до температуры 150 °С. После травления отливки промывают проточной водой, сушат, подвергают термической обработке и контролю.

Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели, а образование неразъемной литейной формы с малой шероховатостью поверхности способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью поверхности, что значительно снижает объем механической обработки отливок. Припуск на механическую обработку составляет 0,2—0,7 мм. Заливка расплавленного металла в горячие формы позволяет получать сложные по конфигурации отливки с толщиной стенки 1—3 мм и массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов из жаропрочных, труднообрабатываемых сплавов (турбинные лопатки), коррозионно-стойких сталей (колеса для насосов), углеродистых сталей в массовом производстве (в автостроении, приборостроении и других отраслях машиностроения).

3. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

При литье в кокиль отливки получают путем заливки расплавленного металла в металлические формы — кокили. По конструкции различают кокили: вытряхные (рис. 22, а); с вертикальным разъемом (рис. 22, б); с горизонтальным разъемом (рис. 22, в) и др.

Полости в отливках оформляют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Кокили с песчаными или оболочковыми стержнями используют для получения отливок сложной конфигурации из чугуна, стали и цветных сплавов, а с металлическими стержнями — для отливок из алюминиевые и магниевых сплавов.

Для получения сложной полости отливки используют разъемные стержни, состоящие из нескольких частей. Например, внутреннюю полость

автомобильного поршня из алюминиевого сплава получают металлическим стержнем, состоящим из трех частей: центрального стержня 2 и двух боковых 1 и 3 (рис. 23, а). После заливки кокиля сплавом и образования достаточно прочной корки в отливке извлекают центровой — клинообразный — стержень 2 (рис. 23, б), затем боковые 1 и 3, а потом стержни 4 и 5, с помощью которых в поршне получают отверстия.

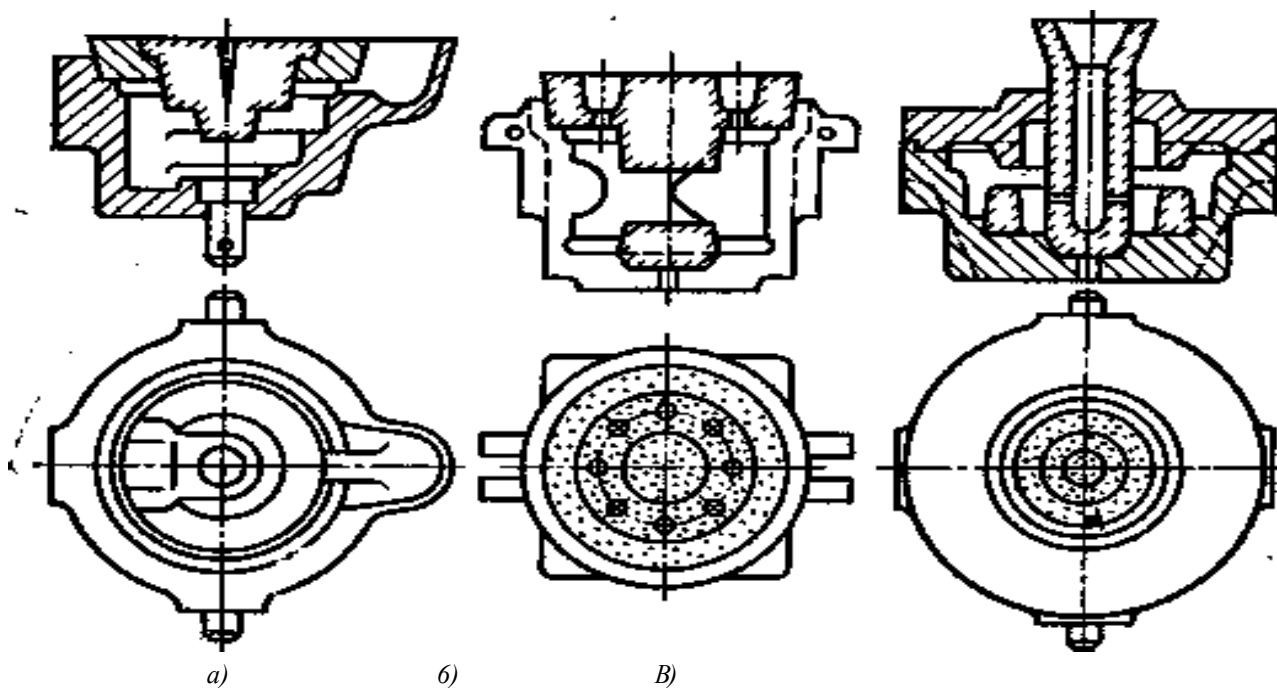


Рис. 22. Конструкции кокилей:

а — неразъемные; б - с вертикальным разъемом; в - с горизонтальным разъемом

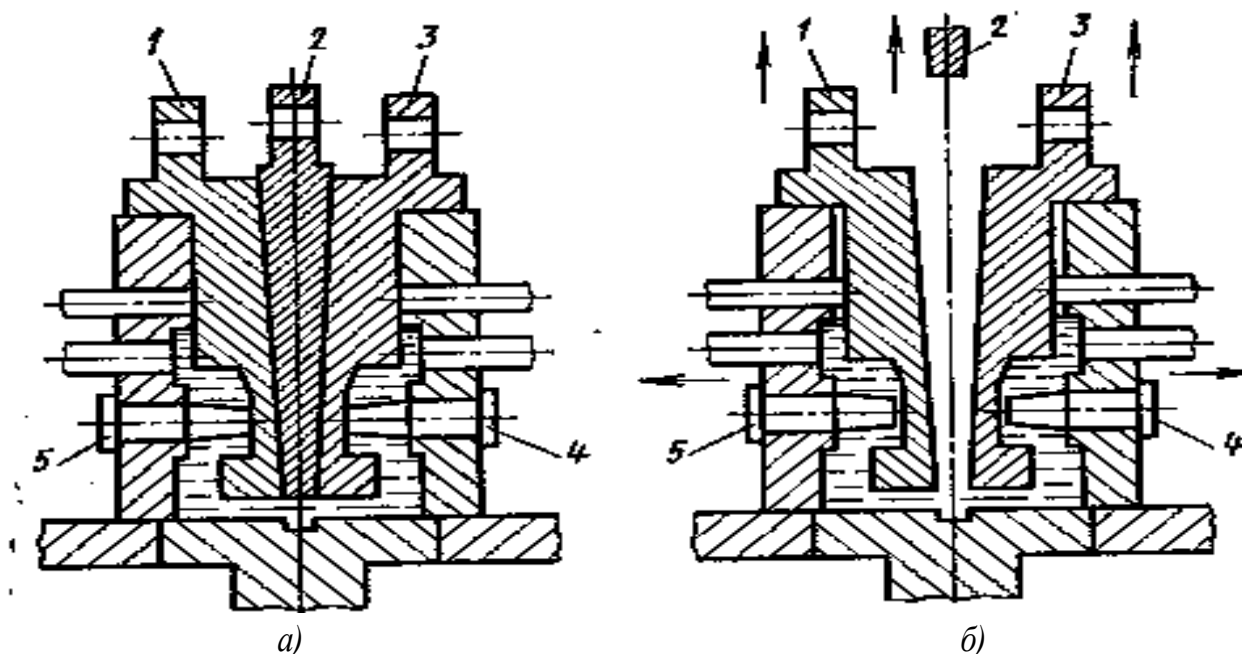


Рис. 23. Кокиль для отливки поршня с разъемным металлическим стержнем.

Для удаления воздуха и газов из полости формы по плоскости разъема

кокиля выполняют вентиляционные каналы. Отливки из рабочей полости удаляют выталкивателями. Заданный тепловой режим литья обеспечивает система подогрева и охлаждения кокиля.

Рабочую поверхность кокиля и металлических стержней очищают от ржавчины и загрязнений. Затем на рабочую поверхность кокиля наносят теплозащитные покрытия для предохранения его стенок от воздействия высоких температур заливаемого металла, для регулирования скорости охлаждения отливки, улучшения заполнения кокиля, облегчения извлечения отливки и т. д.

Теплозащитные покрытия готовят из огнеупорных материалов (пылевидного кварца, молотого шамота, графита, мела и др.), связующего (жидкого стекла и др.) и воды. Теплозащитные покрытия наносят пульверизатором на предварительно подогретый до температуры 140—180 °С кокиль слоем толщиной 0,3—0,8 мм.

Заключительная операция подготовки кокиля: нагрев его до температуры 150—350 °С. Температуру нагрева кокиля назначают в зависимости от сплава и толщины стенок отливки. Например, при изготовлении чугунных отливок с толщиной стенок 5—10 мм кокиль нагревают до 300—350 °С, при толщине стенок 10—20 мм — до 150—250 °С, для алюминиевых и магниевых отливок — до 250—350 °С.

При сборке кокилей в определенной последовательности устанавливают металлические или песчаные стержни, проверяют точность их установки и закрепления, соединяют половины кокиля и скрепляют их.

Заливку металла осуществляют разливочными ковшами или автоматическими заливочными устройствами. Затем отливки охлаждают до температуры выбивки, составляющей 0,6—0,8 температуры солидуса сплава, и выталкивают из кокиля. После этого отливки подвергают обрубке, очистке и в случае необходимости — термической обработке.

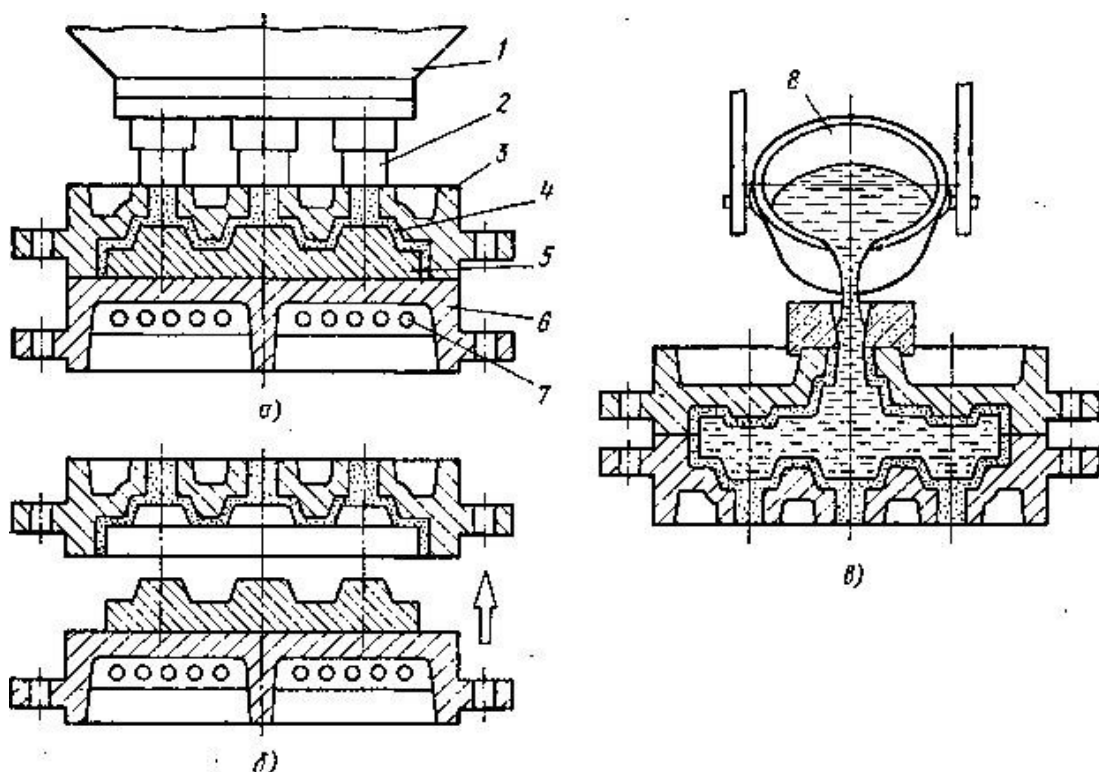


Рис. 24 Схема процесса изготовления отливок в облицованные кокили

Разновидностью кокильного литья является литье в облицованные кокили.

Литье в облицованные кокили (рис. 24) состоит в том, что модельную плиту 6 с моделью 5 нагревают электрическими или газовыми нагревателями 7 до температуры 200—220 °С. На модельную плиту устанавливают нагретый до температуры 200—220 °С кокиль 3. В зазор между кокилем 3 и моделью 5 из пескодудной головки 1 через сопла 2 вдувается формовочная смесь с термореактивным связующим (рис. 24, а). Оболочка 4 толщиной 3—5 мм формируется и упрочняется за счет теплоты кокиля и модели. После отверждения оболочки на кокиле модель извлекают (рис. 24, б). Аналогично изготавливают и вторую половину кокиля. После изготовления полуформ кокиль собирают, а затем из ковша 8 заливают расплавленным металлом (рис. 24, в).

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины и автоматические кокильные линии изготовления отливок. Кокильное литье применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенок 3—100 мм, массой от нескольких десятков граммов до нескольких сотен килограммов.

При литье в кокиль сокращается расход формовочной и стержневой смесей. Затвердевание отливок происходит в условиях интенсивного отвода теплоты от залитого металла, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаные формы. Кокильные отливки имеют высокую геометрическую точность размеров и малую шероховатость поверхности, что снижает припуски на механическую обработку вдвое по сравнению с литьем в песчаные формы. Этот способ литья

высокопроизводителен.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

4. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением. Изготавливают отливки на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной камерой прессования (рис. 25) порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования 4 (рис. 25, а), который плунжером 5 под давлением 40—100 МПа подается в полость пресс-формы (рис. 25, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной / полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рис. 25, в), извлекается стержень 2 и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы. Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120—320 °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки к пресс-форме. Воздух и газы удаляют через каналы глубиной 0,05—0,15 мм и шириной 15 мм, расположенные в плоскости разъема пресс-формы, или вакуумированием рабочей полости перед заливкой расплавленного металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 26) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 расплавленный металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз

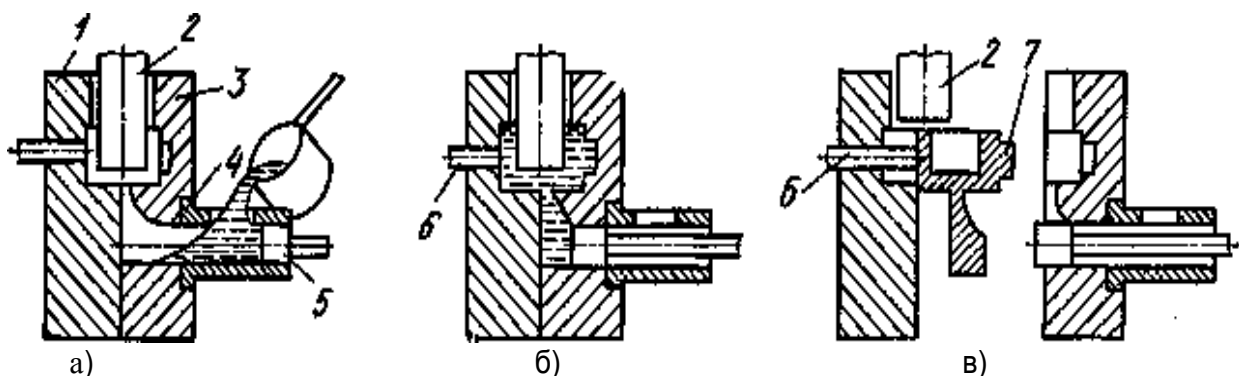
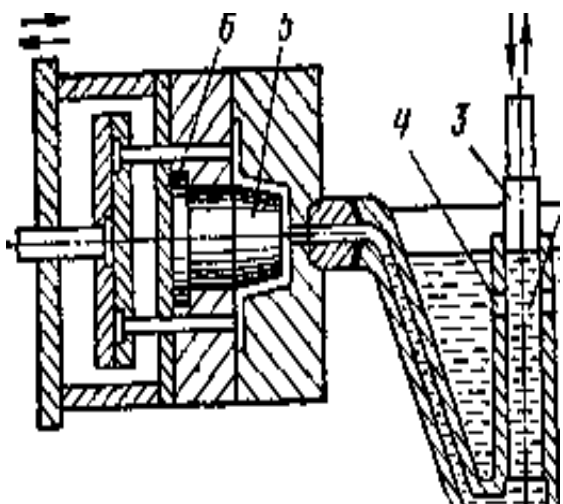


Рис. 25. Схема процесса изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования



отверстия перекрываются, сплав под давлением 10—30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливаются в камеру прессования, а отливка из пресс-формы удаляется выталкивателями 6. Такие машины используют при изготовлении отливок из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

Рис. 26. Схема процесса изготовле-

ния отливок на машинах с горячей камерой прессования.

При литье под давлением температуру заливки сплава выбирают на 10—20 °С выше температуры ликвидуса.

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности за счет точной обработки и тщательного полирования рабочей полости пресс-формы; без механической обработки или с минимальными припусками, что резко сокращает объем механической обработки отливок; с высокой производительностью.

Недостатки литья под давлением — высокая стоимость пресс-форм и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливок, снижающей прочность деталей, и др.

В настоящее время создаются автоматизированные установки литья под давлением, в которых автоматически производятся смазывание пресс-форм, регулирование их теплового режима, подача расплавленного металла в камеру прессования, извлечение отливки и транспортирование ее к обрезающему прессу для удаления литников.

5. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

При центробежном литье сплав заливают во вращающиеся формы; формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем отливки изготовляют в металлических, песчаных, оболочковых формах и в формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения.

Металлические формы (изложницы) изготовляют из чугуна и стали. Толщина изложницы обычно в 1,5—2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока

их службы. Перед работой изложницы подогревают до температуры 200 °С.

При получении чугунных водопроводных труб на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 27, а) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница 2 приводится во вращение электродвигателем 1. Расплавленный чугун из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки чугуна перемещается в направлении, показанном стрелкой, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют либо песчаный, либо оболочковый стержень 8. После затвердевания залитого чугуна трубу извлекают из изложницы. На этих машинах изготавливают втулки, кольца и т.п.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 27, б) расплавленный металл из разливочного ковша 4 заливают в литейную форму 2, укрепленную на шпинделе У, который вращается от электродвигателя. Расплавленный металл центробежными силами прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания. После остановки формы отливка 3 извлекается. На этих машинах изготавливают кольца большого диаметра высотой не более 500 мм.

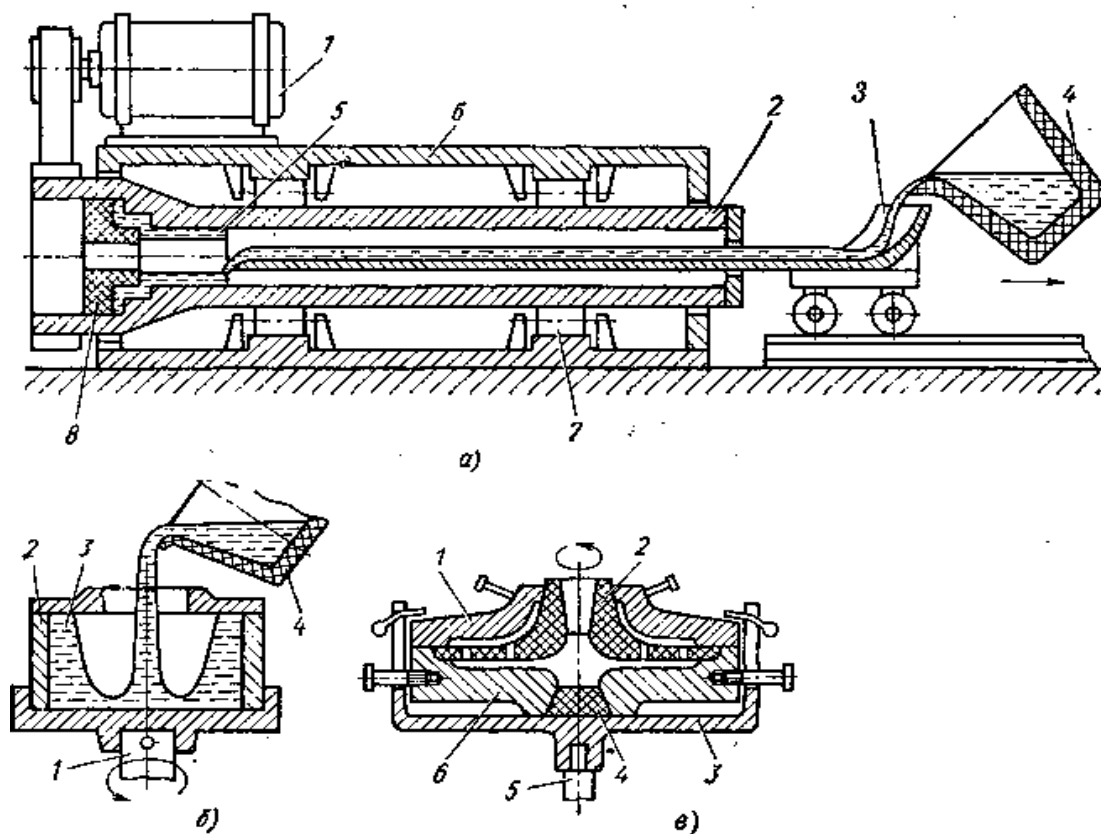


Рис. 27. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем.

На рис. 27, в показана схема процесса литья сложных тонкостенных рабочих колес на машинах с вертикальной осью вращения. Здесь 1, 6 половины кокиля; 2 — стержень, который формирует канал рабочего колеса и его лопасти;

3 — стол машины; 4 — стержень, воспринимающий удар струи заливаемого металла; 5 — шпиндель центробежной машины. Частота вращения изложницы при центробежном литье составляет 150—1200 об/мин. Изложницы перед заливкой нагревают до температуры 150—200 °С. Температуру заливки сплавов назначают на 100—150 °С выше температуры ликвидуса.

Преимущества центробежного литья — получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней; большая экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т. д.).

ЛЕКЦИЯ 5

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1. Физические основы сварочного соединения

2. Термическая сварка

3. Ручная дуговая сварка

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Сварка — технологический процесс получения неразъемных соединений материалов посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. Сваркой соединяют однородные и разнородные металлы и их сплавы, металлы с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и др.), а также пластмассы.

Сварка — экономически выгодный, высокопроизводительный и в значительной степени механизированный технологический процесс, широко применяемый практически во всех отраслях машиностроения.

Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами или молекулами на соединяемых поверхностях заготовок. Для образования соединений необходимо выполнение следующих условий: освобождение свариваемых поверхностей от загрязнений, оксидов и адсорбированных на них инородных атомов; энергетическая активация поверхностных атомов, облегчающая их взаимодействие друг с другом; сближение свариваемых поверхностей на расстояния, сопоставимые с межатомным расстоянием в свариваемых заготовках.

Указанные условия реализуются различными способами сварки путем

энергетического воздействия на материал в зоне сварки. Энергия вводится в виде теплоты, упругопластической деформации, электронного, ионного, электромагнитного и других видов воздействия. В результате поверхностные атомы металлов и кристаллических неметаллических материалов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решетки, а на поверхности пластмасс происходит объединение частей молекулярных цепей.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, все виды сварки разделяют на три класса: термический, термомеханический и механический.

К термическому классу относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии (дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая и др.).

К термомеханическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления (контактная, диффузионная и др.).

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления (ультразвуковая, взрывом, трением, холодная и др.).

Свариваемость — свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Свариваемость материалов оценивают степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла и их склонностью к образованию таких сварочных дефектов, как трещины, поры, шлаковые включения и др. По этим признакам материалы разделяют на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся. Многие разнородные материалы, особенно металлы с неметаллами, не вступают во взаимодействие друг с другом. Такие материалы относятся к числу практически несваривающихся.

Свариваемость материалов в основном определяется типом и свойствами структуры, возникающей в сварном соединении при сварке. При сварке однородных металлов и сплавов в месте соединения, как правило, образуется структура, идентичная или близкая структуре соединяемых заготовок. Этому случаю соответствует хорошая свариваемость материалов. При сварке разнородных материалов в зависимости от различия их физико-химических свойств в месте соединения образуется твердый раствор с решеткой одного из материалов либо химическое или интерметаллидное соединение с решеткой, резко отличающейся от решеток исходных материалов. Механические и физические свойства твердых растворов, особенно химических или интерметаллидных соединений, могут значительно отличаться от свойств соединяемых материалов. Такие материалы относятся к удовлетворительно сваривающимся. Если образуются хрупкие и твердые структурные составляющие в сварном соединении, то в условиях действия сварочных напряжений возможно возникновение трещин в шве или околошовной зоне. В

последнем случае материалы относятся к категории плохо сваривающихся.

2. ТЕРМИЧЕСКАЯ СВАРКА

ДУГОВАЯ СВАРКА. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Источником теплоты при дуговой сварке служит электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки: сварка *неплавящимся* (графитным или вольфрамовым) *электродом 1* дугой прямого действия *2* (рис. 28, а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3* либо с применением присадочного металла *4*; сварка *плавящимся* (металлическим) *электродом 1* дугой прямого действия *2* (рис. 28, б) с одновременным расплавлением основного металла *3* и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом; сварка *косвенной дугой 5* (рис. 28, в), горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами *1*; при этом основной металл *3* нагревается и расплавляется теплотой столба дуги; сварка *трехфазной дугой 6* (рис. 28, г), при которой дуга горит между электродами *1*, а также между каждым электродом и основным металлом *3*. Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. В первом случае электрод подключают к отрицательному полюсу (катод), во втором — к положительному (анод).

Кроме того, различные способы дуговой сварки классифицируют также по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

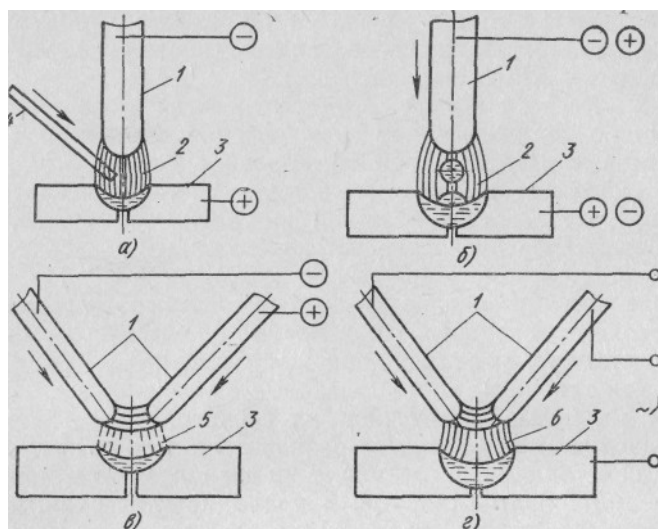


Рис. 28. Схемы дуговой сварки

3. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

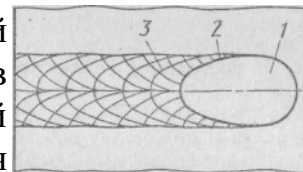
Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 29) дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя газовую защитную атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак после остывания образует твердую шлаковую корку 2.

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например углерода, марганца, кремния, хрома и др., и насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом из окружающего воздуха. В результате возможно изменение состава сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижение его механических свойств, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для обеспечения заданных состава и свойств шва в покрытие вводят легирующие элементы и элементы-раскислители.

Кристаллизация сварного шва начинается от границ оплавленного основного металла и протекает путем роста столбчатых кристаллитов к центру шва. При этом оси кристаллита, как правило, остаются перпендикулярными к поверхности движущейся сварочной ванны, в результате чего кристаллиты изгибаются и вытягиваются в направлении сварки (рис. 30). Вследствие дендритной ликвации примеси располагаются по границам кристаллитов, где они могут образовать легкоплавкие эвтектики и неметаллические включения. Это снижает механические свойства шва и в отдельных случаях может быть причиной образования горячих трещин.

Электроды для ручной сварки представляют собой стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень изготавливают из сварочной проволоки повышенного качества. Стандарт на стальную сварочную проволоку предусматривает 77 марок проволоки диаметром 0,2—12 мм. Сварочную проволоку всех марок в зависимости от состава разделяют на три группы: низкоуглеродистую (Св-08А, Св-08ГС и др.), легированную (Св-18ХМА; Св-10Х5М и др.) и высоколегированную (Св-06Х19Н10МЗТ; Св-07Х25Н13 и др.). В марках проволоки «Св» означает слово «сварочная», буквы и цифры — ее марочный состав.

Сварочную проволоку используют также при автоматической дуговой сварке под флюсом, сварке плавящимся электродом в среде защитных газов и как присадочный материал при дуговой сварке неплавящимся электродом и газовой сварке. Покрытия электродов предназначены для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия воздуха и получения металла шва заданного состава и свойств. В состав покрытия электродов



входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

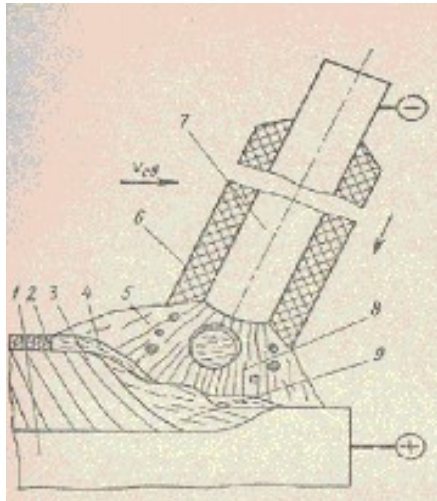


Рис.29. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

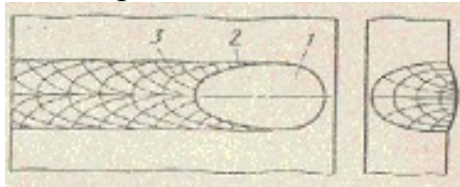
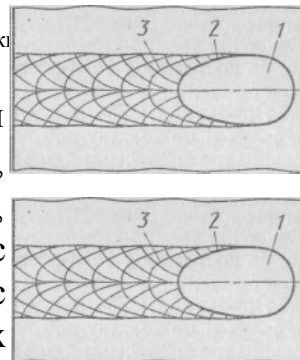


Рис.30. Столбчатые кристаллиты в сварном шве: 1 – сварочная ванна; 2 – изотерма кристаллизации шва; 3 – столбчатый кристаллит

Электроды классифицируют по назначению и виду покрытия. По назначению стальные электроды подразделяют на пять классов: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_b \leq 600$ МПа, легированных конструкционных сталей с $\sigma_b \geq 600$ МПа, легированных жаропрочных сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды для сварки конструкционных сталей делят на типы Э38, Э42, Э150. Цифры в обозначении типа электрода означают σ_b наплавленного металла в 10^{-1} МПа. В обозначение типов электродов для сварки жаропрочных и высоколегированных сталей и наплавочных входит марочный состав наплавленного металла (Э-09МХ, Э-10Х5МФ, Э-08Х20Н9Г2Б, Э-10Х20Н70Г2М2В, Э-120Х12Г2СФ, Э-350Х26Г2Р2СТ и др.).

Рис. 5.7. таллически



По виду покрытия электроды делят на электроды с кислым, рутиловым, основным и целлюлозным покрытием.

Режим ручной дуговой сварки. Основным параметром режима ручной дуговой сварки является сварочный ток (А), который выбирают в зависимости от диаметра и типа металла электрода:

$$I_{св} = kd,$$

где k — опытный коэффициент, равный 40—60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35—40 для электродов со стержнем из

Диаметр электродов выбирают,	исходя из толщины стали δ :			
δ , мм . . .	1—2	3—5	4—10	12—24 и более.
$d_э$, мм . . .	2—3	3—4	4—5	5—6

высоколегированной стали, A/mm ; d_s - диаметр стержня электрода, мм.

При толщине стали до 6 мм сваривают по зазору без разделки кромок заготовки. При больших толщинах металла выполняют одностороннюю или двустороннюю разделку кромок под углом 60° . Разделка необходима для обеспечения полного провара по толщине. Металл толщиной свыше 10 мм сваривают многослойным швом. Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях — нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном (рис. 31), при наложении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы. Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но обладает более низкой производительностью, например, по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом.

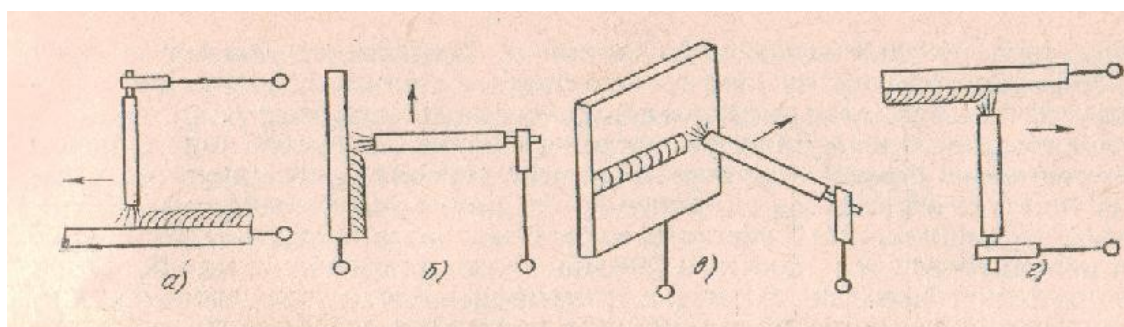


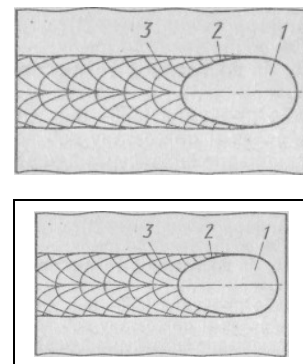
Рис.31. Возможные пространственные положения при ручной сварке: а – нижнее; б- вертикальное; в – горизонтальное; г - потолочное

Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла. Ручную сварку постепенно заменяют полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

ЛЕКЦИЯ 6

ТЕРМИЧЕСКИЙ КЛАСС СВАРКИ

- [1. Автоматическая дуговая сварка под флюсом](#)
- [2. Газовая сварка](#)
- [3. Термическая резка металлов](#)



1. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

Для автоматической дуговой сварки под флюсом используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва.

В процессе автоматической сварки под флюсом (рис. 32) дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30—50 мм. Часть флюса расплавляется, в результате чего вокруг дуги образуется газовая полость, а на поверхности расплавленного металла — ванна жидкого шлака 4. Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Действие мощной дуги и весьма быстрое движение электрода вдоль

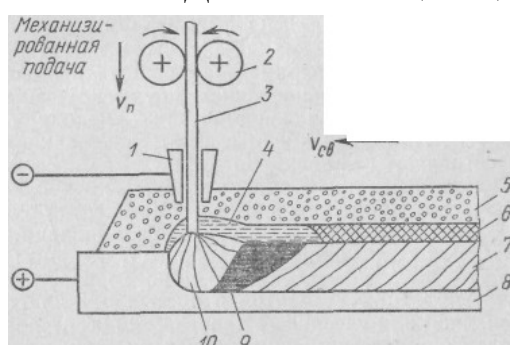


РИС.32. Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом

заготовки обуславливают отеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва с помощью механизмов подачи 2 и перемещения. Ток к электроду поступает через токопровод 1.

Основные преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой состоят в повышении производительности процесса сварки в 5—20 раз, качества сварных соединений и уменьшении себестоимости 1 м сварного шва. Повышение производительности достигается за счет использования больших сварочных токов (до 2000 А) и непрерывности процесса сварки. Применение непокрытой проволоки позволяет приблизить токопровод на расстояние 30—50 мм от дуги и тем самым устранить опасный разогрев электрода при большой силе тока. Плотная флюсовая защита сварочной ванны предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла. Увеличение силы тока позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок.

Повышенное качество сварных швов обусловлено получением более высоких механических свойств наплавленного металла благодаря надежной защите сварочной ванны флюсом, интенсивному раскислению и легированию вследствие увеличения объема жидкого шлака, сравнительно медленного охлаждения шва под флюсом и твердой шлаковой коркой; улучшением формы и поверхности сварного шва и постоянством его размеров по всей длине вследствие регулирования режима сварки, механизированной подачи и перемещения электродной проволоки.

Флюсы служат для изоляции сварочной ванны от атмосферы воздуха, обеспечения устойчивого горения дуги, формирования поверхности шва и

получения заданных состава и свойств наплавленного металла. Флюсы классифицируют по назначению, химическому составу и способу изготовления. По назначению они разделяются на флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, легированных и высоколегированных сталей.

Дуговую сварку под флюсом выполняют сварочными автоматами: сварочными головками или самоходными тракторами, перемещающимися непосредственно по изделию. Назначение сварочных автоматов — подача электродной проволоки в дугу и поддержание постоянного режима сварки в течение всего процесса. Автоматическую сварку под флюсом применяют в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов в нижнем положении на металле толщиной 2—100 мм. Под флюсом сваривают стали различных классов. Автоматическую сварку широко применяют при изготовлении котлов, резервуаров для хранения жидкостей и газов, корпусов судов, мостовых балок и других изделий. Она является одним из основных звеньев автоматических линий для изготовления сварных автомобильных колес и станков для производства сварных прямошовных и спиральных труб.

2. ГАЗОВАЯ СВАРКА

При сварке место соединения нагревают до расплавления высокотемпературным газовым пламенем (рис. 33). При нагреве газосварочным пламенем 4 кромки свариваемых заготовок 1 расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом 2, который вводят в пламя горелки 3 извне. Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода.

Кислород, используемый для сварочных работ, поставляют к месту потребления в стальных баллонах под давлением 15 МПа. Баллоны окрашивают в голубой цвет с черной надписью «Кислород».

Кислородный баллон (рис. 34) представляет собой стальной цилиндр со сферическим днищем 6 и горловиной 4 для крепления запорного вентиля 2. На нижнюю часть баллона насаживают башмак 5, позволяющий ставить баллон вертикально. На горловине имеется кольцо 3 с резьбой для навертывания защитного колпака 1. Средняя жидкостная вместимость баллона 40 дм³. При давлении 15 МПа он вмещает ~6000 дм³ кислорода.

Для снижения давления газа на выходе из баллона и поддержания постоянной величины рабочего давления применяют газовые редукторы. Кислородные редукторы понижают давление от 15 до 0,1 МПа, а ацетиленовые — от 1,6 до 0,02 МПа. Редукторы, применяемые в сварочной технике, обычно имеют два манометра, один из которых измеряет давление газа до входа в редуктор, второй — на выходе из него.

Редукторы для различных газов отличаются лишь устройством присоединительной части, которая соответствует устройству вентиля соответствующего баллона. Корпус редуктора окрашивают в определенный цвет, например в голубой для кислорода, в белый для ацетилена и т. д. К

сварочной горелке кислород от редуктора подают через специальные резиновые шланги.

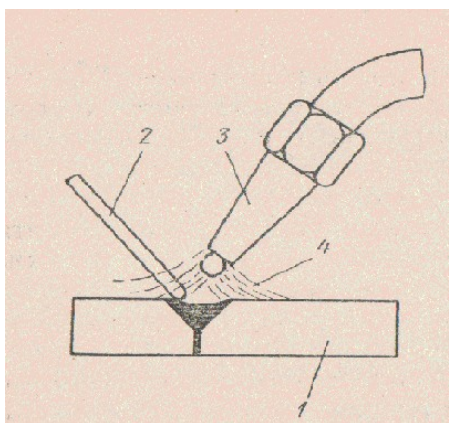


Рис.33. Схема газовой сварки

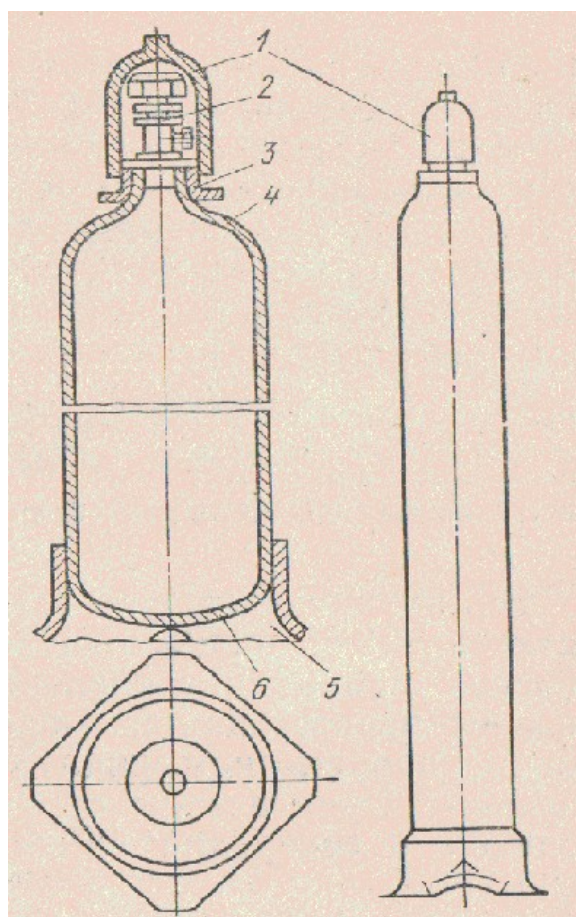
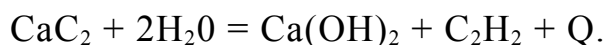


Рис. 34 Схема газового баллона

В качестве горючих газов можно также применять природные газы, водород, пары бензина и керосина, нефтяные газы и др. Перечисленные горючие газы могут быть использованы главным образом для кислородной резки, не требующей высокой температуры пламени. Для газовой сварки применяют ацетилен, так как он имеет большую теплоту сгорания по сравнению с другими горючими газами и высокую температуру пламени (3200°C). Ацетилен (C_2H_2) —

горючий газ с низшей теплотой сгорания 54 кДж/м³. Его получают в специальных аппаратах — газогенераторах — при взаимодействии воды с карбидом кальция:



При разложении 1 кг карбида кальция образуется 250—300 дм³ ацетилена. Ацетилен взрывоопасен при избыточном давлении свыше 0,175 МПа, хорошо растворяется в ацетоне (в одном объеме ацетона при давлении 0,15 МПа растворяется 23 объема ацетилена). Последнее свойство используют для его безопасного хранения в баллонах.

Ацетиленовые генераторы могут быть различных систем и размеров, их различают по способу взаимодействия воды и карбида кальция, по давлению выходящего газа, по производительности.

Наиболее простая конструкция у генератора системы вода на карбид, при которой воду периодически подают на карбид, насыпанный в открытую сверху корзинку (рис. 35). Корзинку помещают в горизонтальную цилиндрическую реторту, герметически закрывающуюся снаружи.

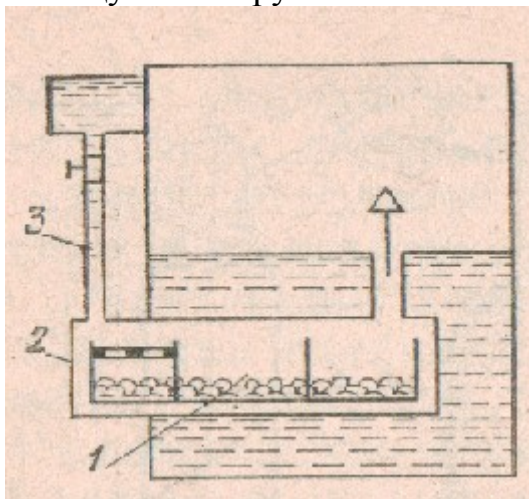


Рис. 35. Схема газогенератора системы вода на карбид:
1 – загрузочная корзинка; 2 – реторта;
3 – трубка для подачи воды в реторту

На пути следования газа от генератора к сварочной горелке устанавливают предохранительные **водяные затворы**, предотвращающие проникание кислородно-ацетиленового пламени в ацетиленовый генератор при его обратном ударе. Обратный удар возникает, когда скорость истечения газов становится меньше скорости их горения. Практически обратный удар происходит при перегреве горелки и засорении сопла или центрального отверстия инжектора.

Ацетиленовые генераторы взрывоопасны и нуждаются в специальном обслуживании. При работе одного-двух сварочных постов и в полевых условиях целесообразно использовать баллонный ацетилен. **Ацетиленовые баллоны** окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Их конструкция аналогична конструкции кислородных баллонов. Давление ацетилена в баллоне 1,5 МПа. В баллоне находятся

пористая масса (активированный уголь) и ацетон. Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объеме большое количество ацетилена. Растворенный в ацетоне ацетилен пропитывает пористую массу и становится безопасным.

Газосварочные горелки используют для образования газосварочного пламени. В промышленности наиболее распространена инжекторная горелка, так как она более безопасна и работает на низком и среднем давлениях (рис. 36). В инжекторной горелке кислород под давлением 0,1—0,4 МПа через регулировочный вентиль 6 и трубку 7 подается к инжектору 5. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного конуса, кислород создает значительное разрежение в камере 4 и засасывает горючий газ, поступающий через вентиль 8 в ацетиленовые каналы горелки 9 и камеру смешения 3, где образуется горючая смесь. Затем горючая смесь поступает по наконечнику 2 к мундштуку 1, на выходе из которого при сгорании образуется сварочное пламя.

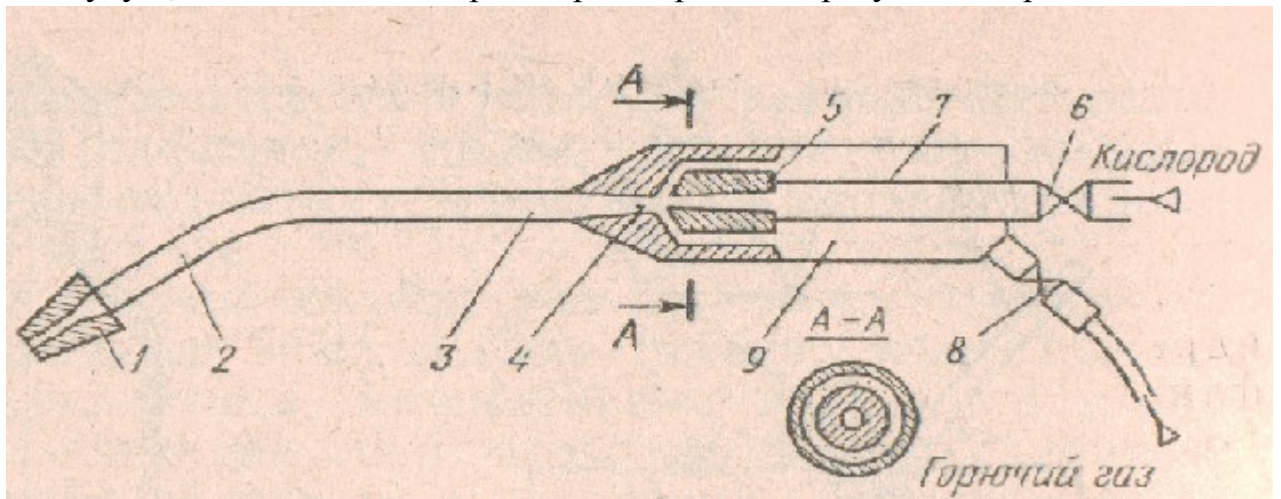


Рис. 36. Схема газосварочной инжекторной горелки

Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать мощность ацетилено-кислородного пламени. Обычно горелки имеют семь номеров сменных наконечников.

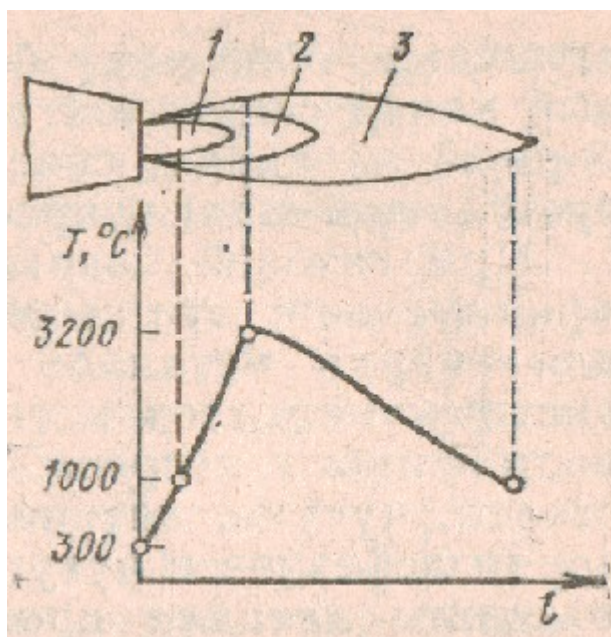
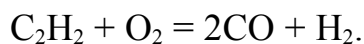
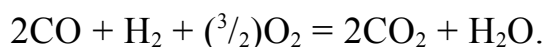


Рис. 37. Газосварочное пламя

Газосварочное пламя образуется в результате сгорания ацетилена, смешивающегося в определенных пропорциях с кислородом в сварочных горелках. Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех зон (рис. 37): ядра пламени 1, средней зоны 2 (сварочной), факела пламени 3 (l — длина). На рисунке показано строение газосварочного пламени и распределение температуры по его оси. В зоне 1 происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука; в зоне 2 — первая стадия горения ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона:



Зона 2, имеющая самую высокую температуру и обладающая восстановительными свойствами, называется сварочной, или рабочей, зоной. В зоне 3 (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счет атмосферного кислорода:

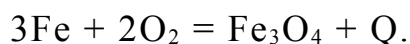


Для газовой сварки сталей присадочную проволоку выбирают в зависимости от состава сплава свариваемого металла. Для сварки применяют специальные литые чугунные стержни; для наплавки износостойких покрытий — литые стержни из твердых сплавов. Для сварки цветных металлов и некоторых специальных сплавов п. пользуют флюсы, которые могут быть в виде порошков и паст; для сварки меди и ее сплавов — кислые флюсы (буру, буру с борной кислотой); для сварки алюминиевых сплавов — бескислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция. Роль флюса состоит в растворении оксидов и образования шлаков, легко всплывающих на поверхность сварочной ванны. Во флюсы можно вводить элементы, раскисляющие и легирующие наплавленный металл.

Для сварки латуни применяют газоплюсовую сварку с дозированной подачей в сварочную ванну газового флюса. Флюс, представляющий собой эфир борной кислоты (BOCH_3), подают в ацетиленовый канал сварочной горелки, где он сгорает в пламени и образует борный ангидрид, связывающий оксиды цинка. В результате образуется слой шлака, препятствующий дальнейшему выгоранию цинка. При газовой сварке заготовки нагреваются более плавно, чем при дуговой; это и определяет основные области ее применения: для сварки металлов малой толщины (0,2—3 мм); легкоплавких цветных металлов и сплавов; для металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения, например инструментальных сталей, чугуна, латуней; для пайки и наплавочных работ; для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках. При увеличении толщины металла производительность газовой сварки резко снижается. При этом за счет медленного нагрева свариваемые изделия значительно деформируются. Это ограничивает применение газовой сварки.

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Газокислородная резка заключается в сжигании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся оксидов. При горении железа в кислороде выделяется значительное количество теплоты по реакции



Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например, сталь — до 1000—1200 °С). На рис. 38 показан процесс газокислородной резки. Металл 3 нагревается в начальной точке реза подогревающим ацетилено-кислородным пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла. Образующиеся оксиды 5 расплавляются и выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме разреза.

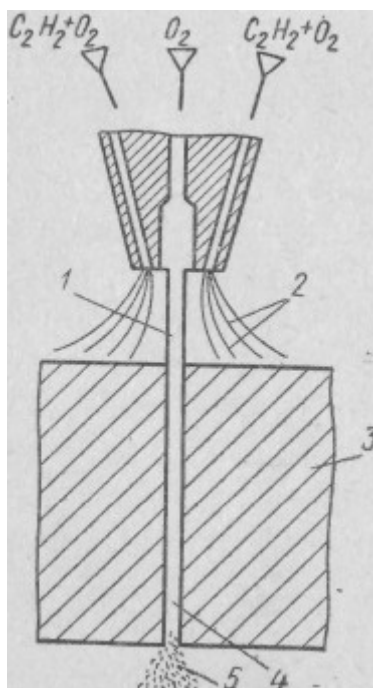


Рис.38. Схема газокислородной резки

Для обеспечения нормального процесса резки металл должен отвечать следующим требованиям: температура его плавления должна быть выше температуры горения в кислороде; температура плавления оксидов металла должна быть ниже температуры его плавления; количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки; теплопроводность металла не должна быть слишком высокой, в противном случае теплота слишком интенсивно отводится в процесс резки прерывается; образующиеся оксиды должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдуться вниз струей режущего кислорода.

Практически указанным требованиям отвечают железо, низкоуглеродистые и низколегированные стали.

По характеру и направленности кислородной струи различают следующие способы резки.

Разделительная резка — режущая струя направлена нормально к поверхности металла и прорезает его на всю толщину. Разделительной резкой раскраивают листовую сталь, разрезают профильный материал, вырезают косынки, круги, фланцы и т. п. **Поверхностная резка** — режущая струя направлена под очень малым углом к поверхности металла (почти параллельно ей) и обеспечивает грубую его строжку или обдирку. Ею удаляют поверхностные дефекты отливок.

Резка кислородным копьем — копьe образуется тонкостенной стальной трубкой, присоединенной к рукоятке и свободным концом прижатой к прожигаемому металлу. Резка начинается с подогрева конца заготовки сварочной дугой или горелкой. При пропускании кислорода через трубку (копье) ее конец быстро загорается и дальнейший подогрев не нужен. Копье

прижимают к металлу и углубляют в него. Таким образом, выжигают отверстия круглого сечения. Кислородным копьем отрезают прибыли крупных отливок, прожигают летки в металлургических печах, отверстия в бетоне и т. п.

Резка может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР со сменными мундштуками (рис. 5.23). В резак конструктивно объединены подогревающая часть и режущая. Подогревающая часть аналогична таковой у сварочных горелок. Режущая часть состоит из дополнительной трубки 4 для подачи режущего кислорода. В мундштуке находятся два концентрически расположенных отверстия для выхода подогревающего пламени 1 и режущей струи 2. Мундштук резака 3 образует прямой угол со стволом. При замене ацетилена другими горючими газами в резак увеличивают сечения каналов инжектора и смесительной камеры.

Ручная резка вследствие неравномерности перемещения резака и вибрации режущей струи не обеспечивает высокого качества поверхности реза, поэтому полость реза механически обрабатывают.

Для получения реза высокого качества применяют машинную резку, которая обеспечивает равномерное перемещение резака по линии реза, строгую перпендикулярность режущей струи к разрезаемой поверхности и постоянное расстояние мундштука от поверхности металла. Машинную резку выполняют специальными автоматами и полуавтоматами с одним или несколькими резаками, при вырезке прямолинейных и криволинейных фасонных заготовок — по металлическому копиру.

Обычной кислородной резкой разрезают металлы толщиной 5—300 мм. При резке металла толщиной более 300 мм применяют специальные резаки.

При кислородно-флюсовой резке в зону резки вместе с режущим кислородом вдувают порошкообразный флюс с железной основой. При сгорании флюса в кислородной струе выделяется дополнительное количество теплоты. В то же время частицы флюса, выходя из сопла резака с большой скоростью, механически удаляют тугоплавкие оксиды. Для получения флюса к железному порошку примешивают флюсующие добавки, поэтому кроме термического и механического удаления оксидов происходит флюсование, т. е. перевод их в более легкоплавкие соединения. Кислородно-флюсовую резку используют для высокохромистых и хромоникелевых сталей, чугунов, медных сплавов. Кислородно-флюсовую резку выполняют с по мощью специальной аппаратуры: флюсопитателя и кислородного резака с приспособлениями для подачи флюса.

При воздушно-дуговой резке металл расплавляется дугой неплавящимся графитовым электродом, а расплавленный металл выдувается из полости реза потоком сжатого воздуха, подаваемого параллельно электроду. Воздушно-дуговую резку можно выполнять во всех пространственных положениях. Основная область ее применения - поверхностная обработка металла (различные углубления в виде канавок, снятие лишнего или дефектного металла и т. п.). Применяют разделительную воздушно-дуговую резку. Для воздушно-дуговой резки используют специальные резаки, представляющие собой держатель электродов, головка которого имеет сопла для подачи

воздуха.

Плазменно-дуговую резку выполняют плазменной дугой и плазменной струей. При резке плазменной дугой металл выплавляется из полости реза направленным потоком плазмы, совпадающим с токоведущим столбом создающей его дуги прямого действия. Этим способом разрезают толстые листы алюминия и его сплавов (до 80—120 мм), высоколегированную сталь и медные сплавы.

Плазменной струей, полученной в столбе дугового разряда независимой дуги, разрезают неэлектропроводные материалы (например, керамику), тонкие стальные листы, алюминиевые и медные сплавы, жаропрочные сплавы и т. д. При плазменной резке используют аргон, его смесь с водородом, воздух и другие газы. Скорость резки плазменной дугой при прочих равных условиях выше скорости резки плазменной струей. Плазменную резку выполняют специальным резаком, называемым плазмотроном.

ЛЕКЦИЯ 7

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ СВАРКА

[1. Контактная сварка](#)

[2. Стыковая сварка](#)

[3. Точечная сварка](#)

[4. Сварка трением](#)

[5. Ультразвуковая сварка](#)

[6. Сварка взрывом](#)

1. КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Контактная сварка относится к видам сварки с кратковременным нагревом места соединения без оплавления или с оплавлением и осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов - пластическая деформация в ходе которой формируется сварное соединение.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта (рис. 39). Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля — Ленца:

$$Q \approx I^2 R t,$$

где Q — количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж; R - полное электросопротивление сварочного контура, Ом; I — сварочный ток, А; t — время протекания тока, с.

Полное электросопротивление сварочного контура R состоит из электросопротивлений выступающих концов L , свариваемых заготовок $R_{заг}$,

сварочного контакта R_k и электросопротивления между электродами и заготовками $R_{эл}$, т. е.

$$R \approx R_{заг} + R_k + R_{эл}$$

Электросопротивление R_k имеет наибольшее значение, так как из-за неровностей поверхности стыка даже после тщательной обработки заготовки соприкасаются только в отдельных точках (рис. 40). В связи с этим действительное сечение металла, через которое проходит ток, резко уменьшается. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводимостью, которые также увеличивают электросопротивление контакта. В результате в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей.

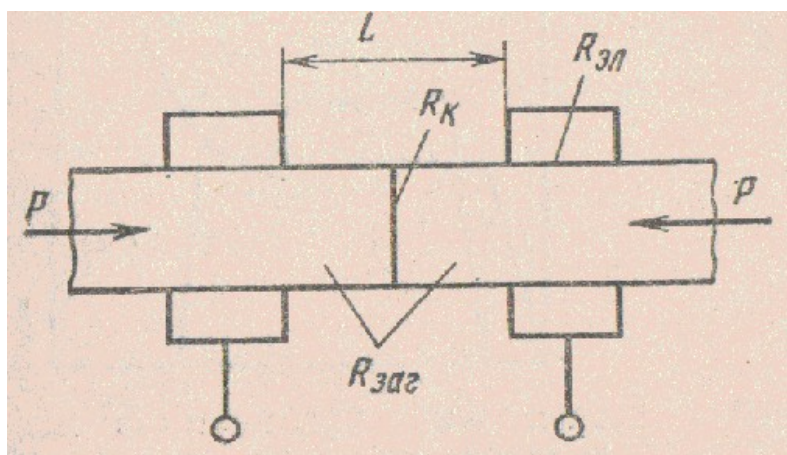


Рис. 39 Схема контактной сварки

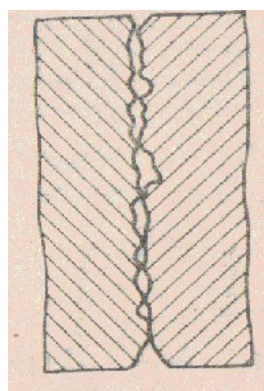


Рис. 40 Физический контакт

Контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения, определяющего вид сварочной машины, и по роду тока, питающего сварочный трансформатор. По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную и шовную.

2. СТЫКОВАЯ СВАРКА

Стыковая сварка — разновидность контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. Свариваемые заготовки закрепляют в зажимах стыковой машины (рис. 41). Зажим 3 установлен на подвижной плите 4, перемещающейся в направляющих, зажим 2 укреплен на неподвижной плите 1. Сварочный трансформатор соединен с плитами гибкими шинами и питается от сети через включающее устройство. Плиты перемещаются, и заготовки сжимаются под действием усилия P , развиваемого механизмом осадки.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением а при разогреве торцов заготовок до оплавления и последующей осадкой — сваркой оплавлением. Для правильного формирования сварного соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности. Совместное графическое изображение тока и давления, изменяющихся в процессе сварки, называют циклограммой с в а р к и .

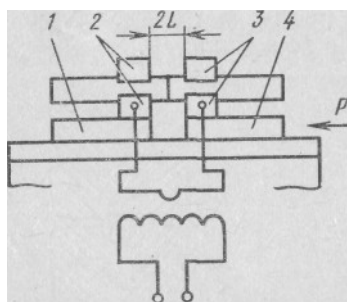


Рис. 41. Схема контактной стыковой сварки

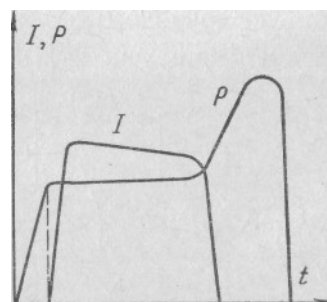


Рис. 42. Циклограмма контактной стыковой сварки сопротивлением

Циклограмма контактной стыковой *сварки сопротивлением* представлена на рис. 42. Перед сваркой заготовки должны быть очищены от оксидных пленок и торцы их плотно пригнаны друг к другу. Для подгонки необходима механическая обработка торцов. Заготовки сдавливаются усилием P , затем включается ток, металл разогревается до пластического состояния, затем заготовки снова сдавливают (осаживают). В месте сварки образуется усиление металла.

Параметрами режима контактной стыковой сварки сопротивлением являются плотность тока j , А/мм^2 , удельное усилие сжатия торцов заготовки p , Па, и время протекания тока t , с, которое определяют косвенно через величину осадки, зависящую от установочной длины L . Установочной длиной L называют расстояние от горца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Длина L зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки.

Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой

сопротивлением, представлены на рис. 43.

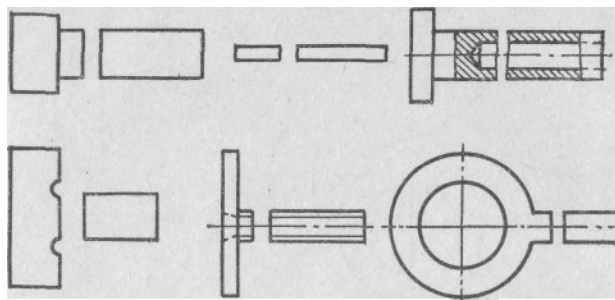


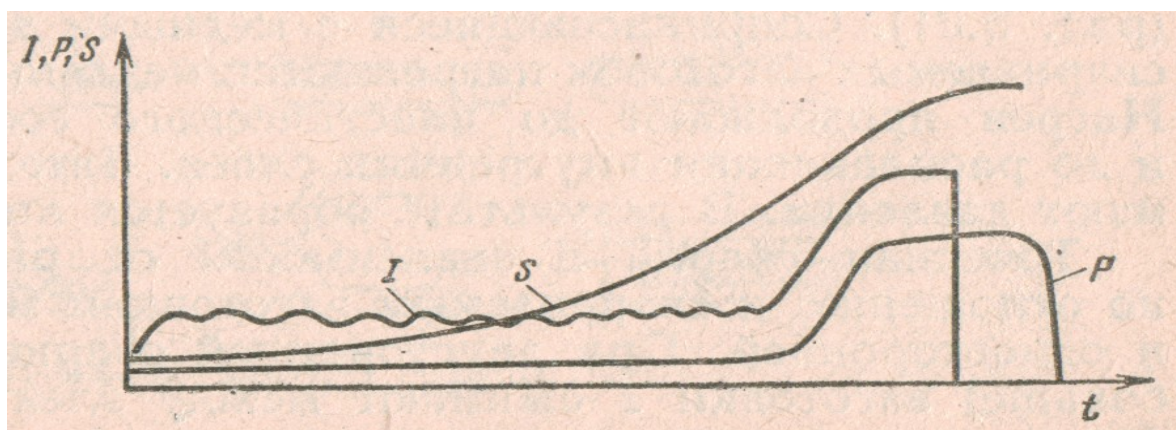
Рис. 43. Тип сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой

Этим способом малого сечения (до 100 больших сечениях

соединяют заготовки мм²), так как при нагрев будет

неравномерным. Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с простым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Сваркой сопротивлением можно сваривать низкоуглеродистые, низколегированные конструкционные стали, алюминиевые и медные сплавы.

Стыковая *сварка оплавлением* имеет две разновидности: непрерывным и прерывистым оплавлением. При непрерывном оплавлении между заготовками, установленными в электродах машины, оставляют зазор, подключают ток и равномерно сближают заготовки. Соприкосновение происходит вначале по отдельным небольшим площадкам, через которые протекает ток высокой плотности. При этом под действием магнитного поля расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка заготовки осаживают. Циклограмма сварки непрерывным оплавлением показана на рис. 44.



При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током, приводят их в кратковременное соприкосновение и вновь разъединяют на небольшое расстояние. Быстро повторяя одно за другим сближения и разъединения, выполняют оплавление всего сечения. Затем выключают ток и сдавливают заготовку. Под давлением часть расплавленного металла вместе с

оксидами выдавливается из зоны сварки.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением. В процессе оплавления выравниваются все неровности стыка, а оксиды и загрязнения удаляются, поэтому не требуется особой подготовки места соединения. Можно сваривать заготовки с сечением сложной формы, а также заготовки с различными сечениями, разнородные металлы (быстрорежущую и углеродистую стали, медь и алюминий и т. д.).

Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой оплавлением, приведены на рис. 45.

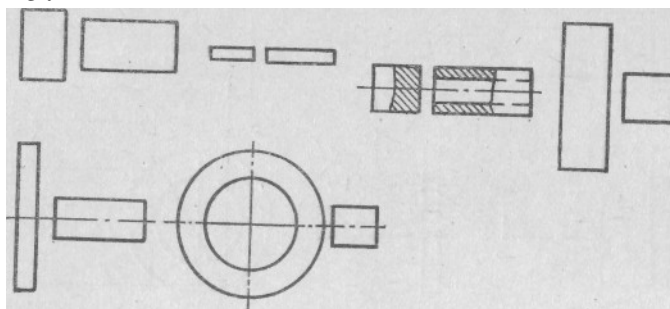


Рис. 45. Типы сварных соединений стыковой сварки оплавлением

Наиболее распространенными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, служат элементы трубчатых конструкций, колеса и кольца, инструмент, рельсы, железобетонная арматура.

3. ТОЧЕЧЕНАЯ СВАРКА

Точечная сварка — разновидность контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках. При точечной сварке заготовки собирают внахлестку и зажимают с усилием P между двумя электродами, подводщими ток к месту сварки (рис. 46). Соприкасающиеся с медными электродами поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоев и до расплавления внутренних слоев. Затем выключают ток и снимают давление. В результате образуется литая сварная точка.

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть двусторонней и односторонней. При двусторонней сварке (рис. 46, *а*) две (или больше) заготовки 1 сжимают между электродами 2 точечной машины. При односторонней сварке (рис. 46, *б*) ток распределяется между верхним и нижним листами 3 и 4, причем нагрев осуществляется частью тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, предусмотрена медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Параметры режима точечной сварки: удельное усилие сжатия, МПа; плотность тока j , А/мм²; время протекания тока

$t, c.$

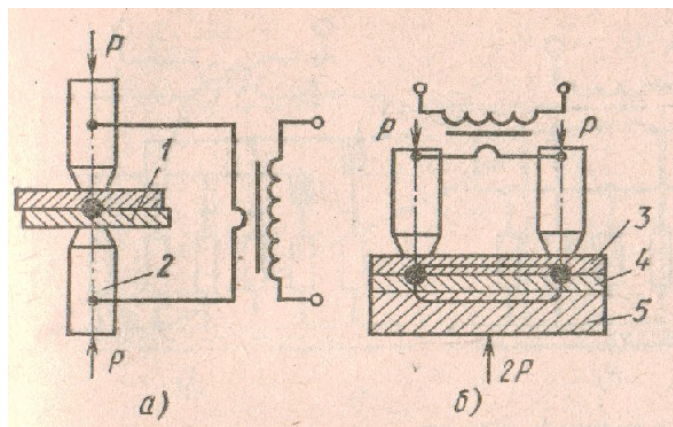


Рис. 46. Схема контактной точечной сварки: а – двусторонней; б – односторонней.

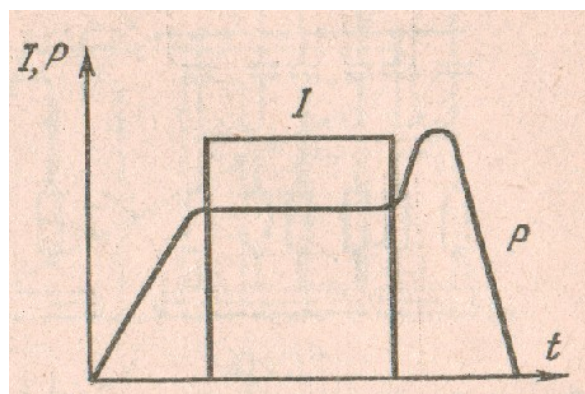


Рис. 47. Циклограмма контактной точечной сварки

На рис. 47 показана одна из применяемых циклограмм точечной сварки. Весь цикл сварки состоит из четырех стадий: сжатие свариваемых заготовок между электродами; включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления, сопровождающийся образованием литого ядра точки; выключение тока и увеличение сжатия для улучшения структуры сварной точки; снятие усилия с электродов. Перед сваркой место соединения очищают от оксидных пленок (наждачным кругом или травлением).

Типы сварных соединений, выполняемых точечной сваркой, показаны на рис. 48. Точечной сваркой изготовляют штамповарные заготовки при соединении отдельных штампованных элементов сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность. Точечную сварку применяют для изготовления изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов. Толщина свариваемых металлов составляет 0,5—5 мм.

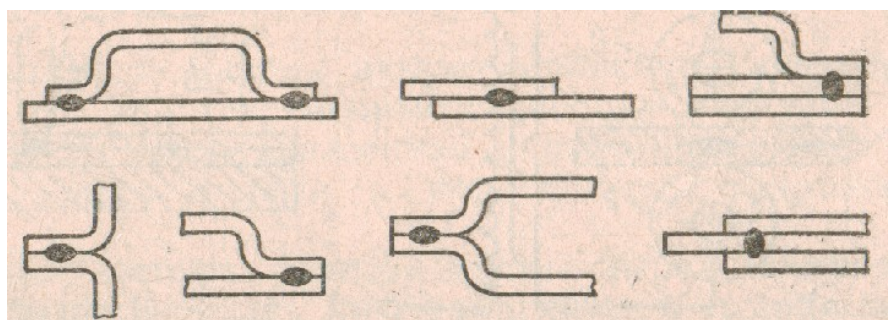


Рис. 48. Типы сварных соединений точечной сварки

Многоточечная контактная сварка — разновидность контактной сварки, когда за один цикл свариваются несколько точек. Многоточечную сварку выполняют по принципу односторонней точечной сварки. Многоточечные машины могут иметь от одной пары до 100 пар электродов, соответственно можно сваривать 2—200 точек одновременно. Многоточечной сваркой сваривают одновременно и последовательно. В первом случае все электроды сразу прижимают к изделию, что обеспечивает меньшее коробление и большую точность сборки. Ток распределяется между прижатыми электродами специальным токораспределителем, включающим электроды попарно (рис. 49, а). Во втором случае пары электродов опускают поочередно или одновременно, а ток подключают поочередно к каждой паре электродов от сварочного трансформатора (рис. 49, б и в). Многоточечную сварку применяют в основном в массовом производстве, где требуется большое число сварных точек на заготовке.

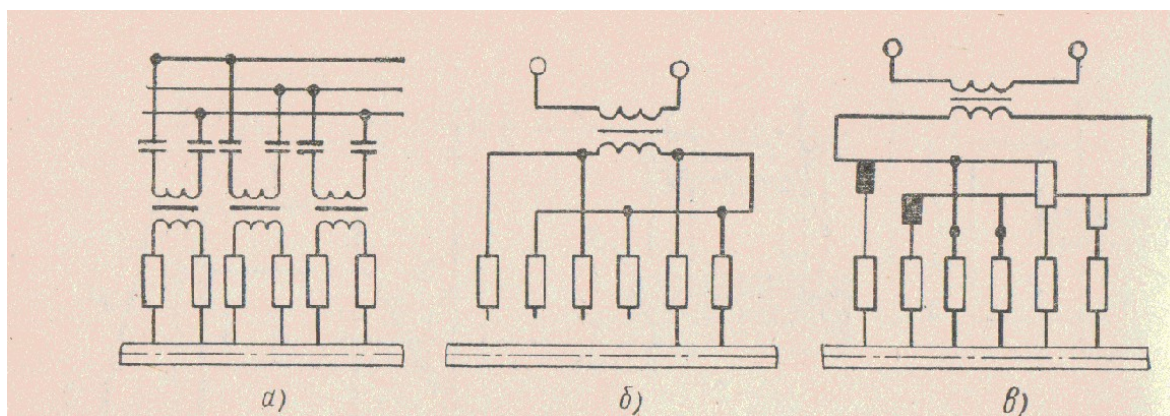


Рис. 49. Схемы односторонней многоточечной сварки

4. ШОВНАЯ СВАРКА

Шовная сварка — разновидность контактной сварки, при которой между свариваемыми заготовками образуется прочное и плотное соединение. Электроды выполняют в виде плоских роликов, между которыми пропускают свариваемые заготовки.

В процессе шовной сварки листовые заготовки 1 соединяют внахлестку, зажимают между электродами 2 (рис.50) и пропускают ток. При движении

роликов по заготовкам образуются перекрывающиеся друг друга сварные точки, в результате чего получается сплошной герметичный шов. Шовную сварку, так же как и точечную, можно выполнить при двустороннем *а* и одностороннем *б* расположении электродов.

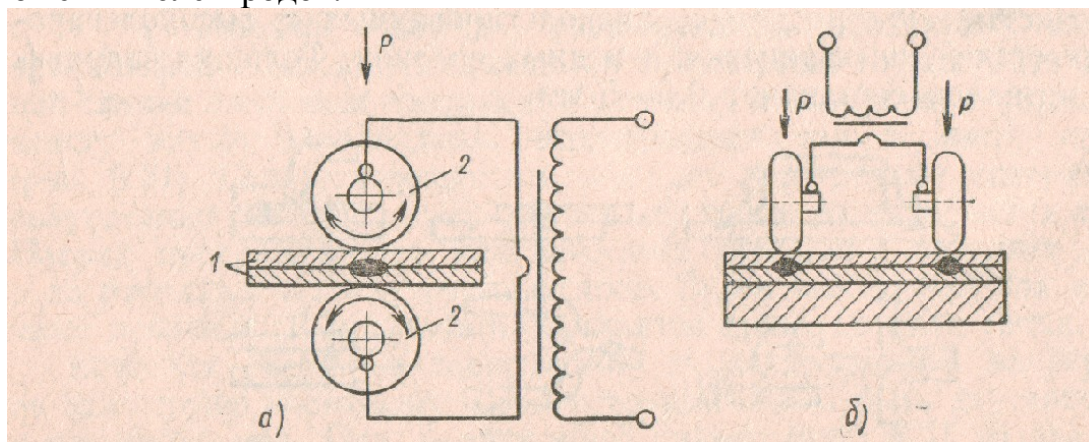


Рис. 50. Схема шовной сварки

Циклограммы процесса шовной сварки бывают с непрерывным включением тока (рис. 51, а) и с прерывистым (рис. 51, б). Последовательность этапов технологических операции в начале и при завершении сварки шва такая же, как и при точечной.

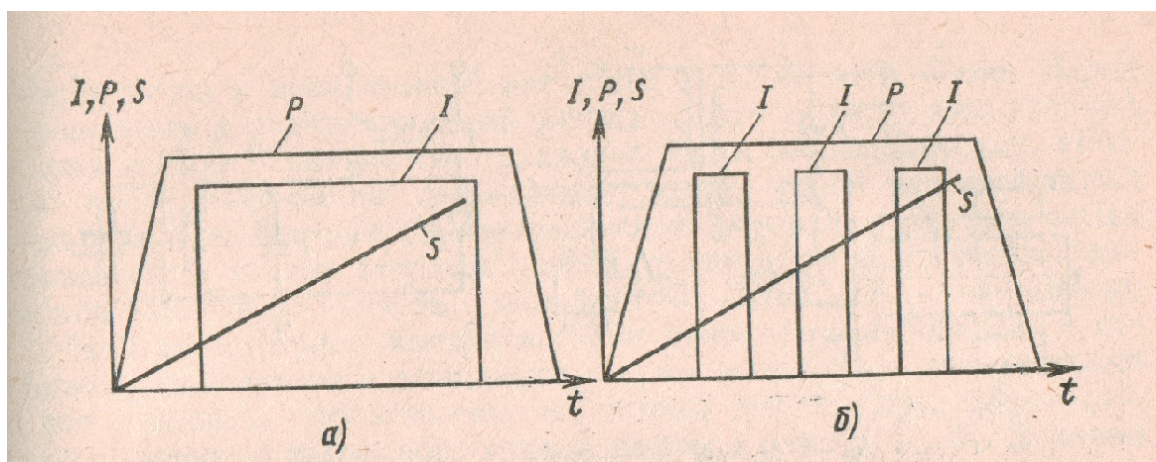


Рис.51. Циклы шовной сварки при включении тока:
 а – непрерывном; и – прерывистом; P – усилие сжатия; S – перемещение роликов; I – сварочный ток; t – время.

Циклограмму с непрерывным включением тока применяют для сварки коротких швов и металлов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при перегреве околошовной зоны (низкоуглеродистые и низколегированные стали). Циклограмма с прерывистым включением тока обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при малой зоне термического влияния. Ее используют при сварке длинных швов на заготовках из высоколегированных сталей и алюминиевых сплавов.

Шовную сварку применяют в массовом производстве при изготовлении

различных сосудов. Толщина свариваемых листов составляет 0,3—3 мм. Шовной сваркой выполняют те же типы сварных соединений, что и точечной, но используют для получения герметичного шва.

5. СВАРКА ТРЕНИЕМ

Сварка трением относится к процессам, в которых используются взаимное перемещение свариваемых поверхностей, давление и кратковременный нагрев. Сварка трением происходит в твердом состоянии при взаимном скольжении двух заготовок, сжатых силой P . Работа, совершаемая силами трения при скольжении, превращается в теплоту, что приводит к интенсивному нагреву трущихся поверхностей. Трение поверхностей осуществляется вращением или возвратно-поступательным перемещением сжатых заготовок (рис. 52). В результате нагрева и сжатия происходит совместная пластическая деформация. Сварное соединение образуется вследствие возникновения металлических связей между чистыми (ювенильными) контактирующими поверхностями свариваемых заготовок. Оксидные пленки на соединяемых поверхностях разрушаются в результате трения и удаляются за счет пластической деформации в радиальных направлениях.

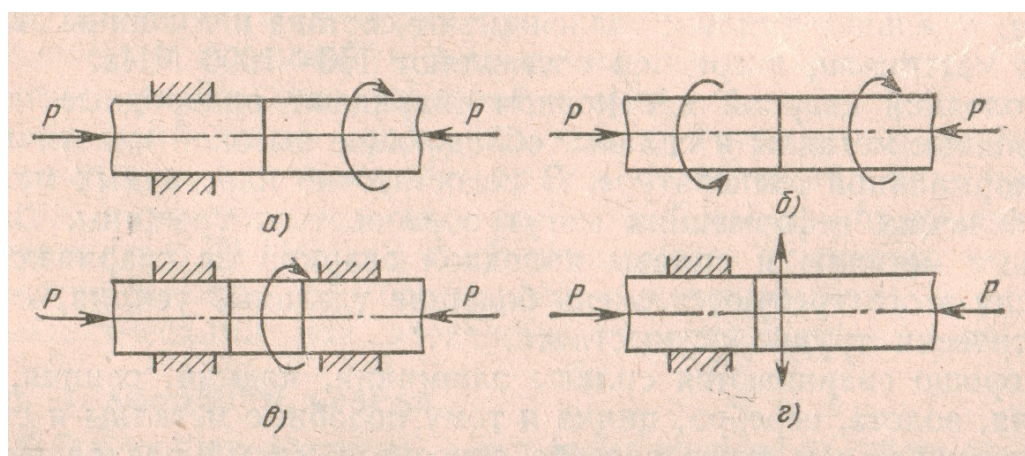


Рис. 52. схема сварки трением:

а – с вращением одной детали; б – с вращением обеих деталей; в – с вращающейся вставкой ; г – с возвратно-поступательным движением одной детали

Основные параметры сварки трением: скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей, продолжительность нагрева, удельное усилие, пластическая деформация, т. е. осадка. Требуемый для сварки нагрев обусловлен скоростью вращения и осевым усилием. Для получения качественного соединения в конце процесса необходимо быстрое прекращение движения и приложение повышенного давления. Параметры режима сварки трением зависят от свойств свариваемого металла, площади сечения и

конфигурации изделия. Сваркой трением соединяют однородные и разнородные металлы и сплавы с различными свойствами, например медь со сталью, алюминий с титаном и др. На рис. 53 показаны основные типы соединений, выполняемых сваркой трением. Соединение получают с достаточно высокими механическими свойствами. В промышленности сварку трением применяют при изготовлении режущего инструмента, различных валов, штоков с поршнями, пуансонов и т. п. При сварке трением по сравнению с контактной стыковой сваркой снижаются затраты энергии (в 5—10 раз) и требуемые мощности.

Для сварки трением выпускают серийные машины МСТ-23, МСТ-35 и МСТ-41 мощностью 10, 20 и 40 кВт; в виде исключения после соответствующей реконструкции используют обычные, металлорежущие станки (токарные, фрезерные, сверлильные).

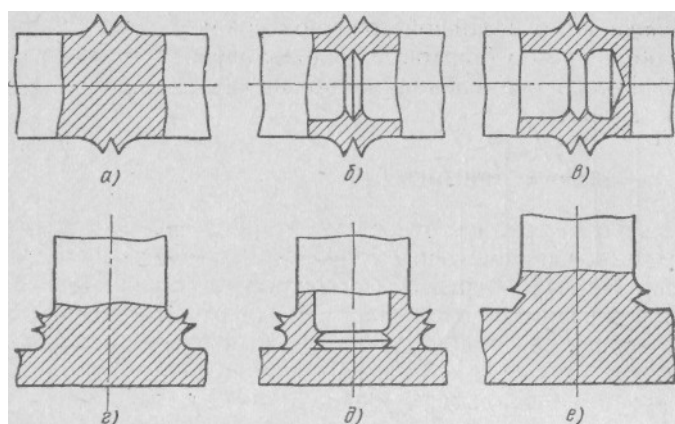


Рис. 53. Типы сварных соединений сварки трением:

a — сварка стержней встык; *б* — сварка труб встык; *в* — сварка встык стержня с трубой; *г* — приварка стержня к листу; *д* — приварка трубы к листу; *е* — приварка стержня к массивной детали

5. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

Ультразвуковая сварка относится к процессам, в которых используют давление, нагрев и взаимное трение свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки, сжатые осевой силой P , механических колебаний с ультразвуковой частотой. Для получения механических колебаний высокой частоты используют магнестрикционный эффект, основанный на изменении размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля. Изменения размеров магнестрикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, в большинстве случаев сужающейся формы.

При ультразвуковой сварке (рис. 54) свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6. Наконечник 4 рабочего инструмента 3 соединен с

магнитострикционным преобразователем *1* через трансформатор *2* продольных упругих колебаний, представляющих собой вместе с рабочим инструментом волновод. Нормальная сжимающая сила *P* создается моментом *M* в узле колебаний. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки.

Тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл в этих слоях немного размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает 600 °С, а при сварке алюминия 200—300 °С. Это особенно важно при сварке химически активных металлов.

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединения по замкнутому контуру. При сварке по контуру, например, по кольцу, в волновод вставляют конический штифт, имеющий форму трубки. При равномерном поджатии заготовок к свариваемому штифту получают герметичное соединение по всему контуру (рис. 55). Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до 0,001 мм, а также приваривать тонкие листы и фольгу к заготовкам неограниченной толщины. Снижение требований к качеству свариваемых поверхностей позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками. Этим способом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например алюминий с медью, медь со сталью и т. п. Ультразвуковым способом сваривают и пластмассы, однако в отличие от сварки металлов к заготовкам подводятся поперечные ультразвуковые колебания.

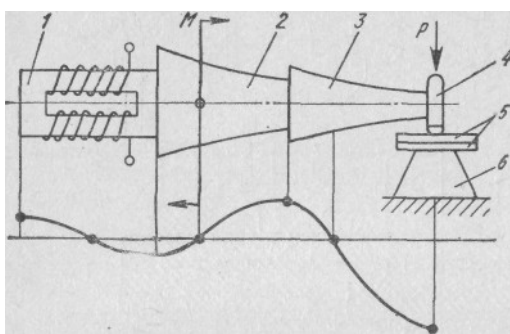


Рис. 54. Схема ультразвуковой сварки

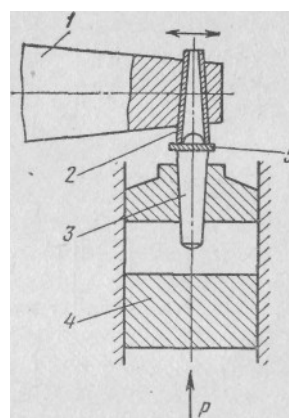


Рис. 55. Ультразвуковая сварка по контуру:
1 — волновод; 2 — сменный полый штифт; 4 — прижимная опора;

В нашей стране выпускают ультразвуковые машины типа УЗСМ-1 и УЗСМ-2.

Ультразвуковую сварку применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

7. СВАРКА ВЗРЫВОМ

Сварку взрывом можно отнести к видам сварки с оплавлением при кратковременном нагреве на воздухе, так как на отдельных участках наблюдаются зоны металла, нагретые до оплавления. Однако на других участках температура может быть невысока, и здесь процесс приближается к холодной сварке.

Большинство технологических схем сварки основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва (рис. 56). Соединяемые поверхности двух заготовок 4 и 3, в частности пластин, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом α друг к другу на расстоянии h_0 . На заготовку 3 укладывают взрывчатое вещество 2 толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1. Сваривают на жесткой опоре. Давление, возникающее при взрыве, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация взрывчатого вещества с выделением газов и теплоты происходит с большой скоростью (несколько тысяч метров в секунду).

В месте соударения метаемой пластины с основанием образуется угол γ который перемещается вдоль соединяемых поверхностей. При соударении из вершины угла выдуваются тонкие поверхностные слои, оксидные пленки и другие загрязнения. Соударение пластин вызывает течение металла в их поверхностных слоях. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил взаимодействия, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микро секунд. Этого времени недостаточно для протекания диффузионных процессов, сварные соединения не образуют промежуточных соединений между разнородными металлами и сплавами.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Разрушение при испытании происходит на некотором расстоянии от плоскости соединения по наименее прочному металлу. Это объясняется упрочнением тонких слоев металла, прилегающих к соединенным поверхностям, при их пластической деформации.

Параметры сварки взрывом: скорость детонации O , нормальная скорость V_n метаемой

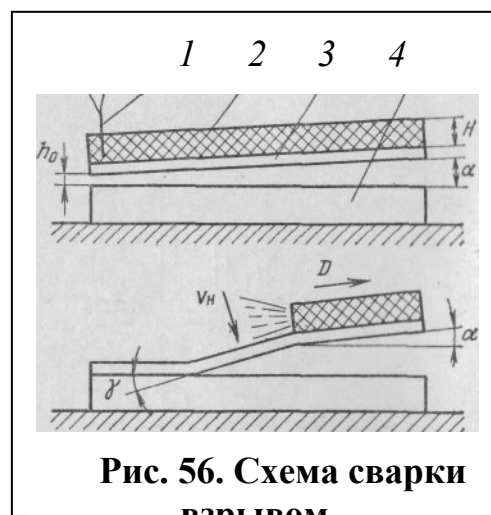


Рис. 56. Схема сварки взрывом

пластины при соударении с основанием и угол γ их встречи при соударении. Скорость детонации, определяемая типом взрывчатого вещества и толщиной его слоя, должна обеспечивать образование направленной (кумулятивной) струи без возникновения опасных для металла ударных волн.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакирования поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ 220301, 280101, 010701

Лабораторная работа №1.

Изготовление микрошлифа

Цель работы: ознакомить студентов с техникой изготовления шлифов.

Структура металлов и металлических сплавов их свойства взаимно связаны. Каждому виду металла и сплава присуща определенная структура и определенный комплекс свойств.

Принято различать макроструктуру и микроструктуру. В первом случае она изучается на макрошлифах, а во втором - на микрошлифах.

Макрошлиф - это специально подготовленный образец, изучение которого производится невооруженным глазом или с помощью лупы. Макрошлифами могут служить разрезы целых деталей или отливок. На отработанных и протравленных поверхностях макрошлифов видны крупные дефекты /поры, раковины, трещины, неметаллические включения/ и характер кристаллического строения /макроструктура/.

Микрошлиф - также специально изготовленный образец, но для наблюдения при значительном увеличении с помощью металлографических микроскопов. Размеры изучаемой поверхности обычно не превышают 1-2 см; размеры наблюдаемой под микроскопом поверхности при значительных увеличениях могут составлять доли квадратного миллиметра.

При травлении микрошлифов выявляется кристаллическая зернистая структура металла /сплава/.

Травление макро- и микрошлифов принципиально имеет одинаковое значение - подвергнуть слабой коррозии обработанные поверхности. Анизотропность свойств кристаллов вызывает неодинаковую степень коррозии различно ориентированных зерен.

Высокие требования к качеству поверхности микрошлифов предъявляются потому, что рассматриваются они в отраженном свете, а хорошей отражательной способностью обладают зеркально гладкие поверхности. При изготовлении макрошлифов обычно ограничиваются шлифовкой, а при изготовлении микрошлифов после шлифовки проводится тщательная полировка. Схема, поясняющая механизм травления микрошлифов, приведена на рис. 1.1. Слева дано сечение микрошлифа плоскостью, перпендикулярной его поверхности, справа изображены те же элементы после травления.

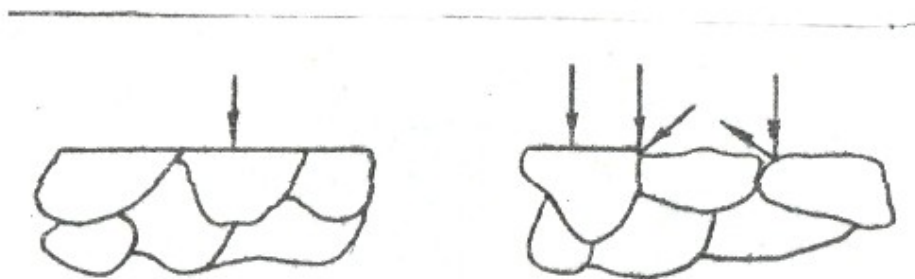


Рис. 1.1. Схема травления микрошлифов

Из рисунков видно, что различные зерна протравились на различную глубину /следствие анизотропности свойств кристаллов/ и наиболее сильно протравились границы зерен. Последнее обстоятельство объясняется тем, что в процессе кристаллизации к границам зерен отесняются примеси, снижающие не только температуру кристаллизации, но и химическую стойкость.

Приготовление микрошлифов может быть ручным и машинным. Из машинных способов наиболее распространенной является полировка. Не менее важным является заключительный этап приготовления микрошлифов - травление.

Травление может осуществляться непосредственным соприкосновением полированной поверхности микрошлифа с реактивом /обычно слабым раствором кислоты/ или электролитически. Последнее предпочтительнее, так как обеспечивает большую контрастность и четкость наблюдаемой структуры.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ:

1- Студенту выдается образец, из которого он должен сделать шлиф. Поверхность образца предварительно обработана напильником или наждачным кругом и имеет риски.

2. Поверхность образца шлифуется на различных номерах наждачной бумаги, начиная с крупнозернистой и кончая самой мелкой. Шлифование производят вручную. Наждачная бумага кладется на стекло стороной, свободной от наждака, образец-шлиф перемещают по бумаге при переходе на другие номера наждачной бумаги. Направление шлифования должно быть всегда перпендикулярным к рискам на образце, оставшимся от предающего шлифования.

Таким образом производит шлифование, переходя на бумагу с минимальной зернистостью до тех пор, пока риски не будут наблюдаться при визуальном осмотре.

3. После окончания шлифования образец промывают в воде и переходят на полировку на вращающем круге, обтянутое сукном к периодически смачиваемом взмученным раствором окиси алюминия /или окиси хрома/.

4. Полирование проводить перпендикулярно к имеющимся на образце рискам. Полирование считается законченным, если поверхность зеркальна и не имеет

риск. После этого образец промывается и просушивается фильтровальной бумагой.

5. Провести травление. Хорошо просушенный образец своей зеркальной поверхностью опустить в 3-4% раствор азотной кислоты в спирте и выдержать в течение 10-20 секунд. Готовность травления определяется серой каймой, появившейся на образце. После этого образец промыть под струей воды и просушить фильтровальной бумагой.

6. Протравленный и просушенный образец рассмотреть под микроскопом. Возможная недотравленность или перетравленность образца указывается преподавателем - в первом случае травление надо повторить, во втором - снова подвергнуть полировке или шлифовке и полировке и новому травлению. После травления образец при помощи пластилина прикрепить к стеклу, и он получает название шлифа. Рассмотренную под микроскопом структуру нарисовать.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Какие характеристики металлов и сплавов определяются на микрошлифах?
2. В чем состоит особенность шлифования выбранного образца?
3. В чем состоит особенность полирования образца?
4. Какой реактив применяют для травления мерных металлов?
5. Какие задачи может решать микроанализ?
6. Какие задачи может решать макроанализ?

Лабораторная работа №2.

Металлографический анализ. Изучение процесса кристаллизации

Цель работы: ознакомиться с устройством и освоить методику работы на металлографическом микроскопе, изучить процесс кристаллизации.

Металлографический микроскоп позволяет наблюдать структуру в отраженном свете. Принципиальная оптическая схема учебного металлографического микроскопа /ММУ/ приведена на рис. 2.1.

Низковольтным источником I направляется параллельный пучок света в направлении прозрачной стеклянной пластинки 2, установленной под углом 45° к пучку света.

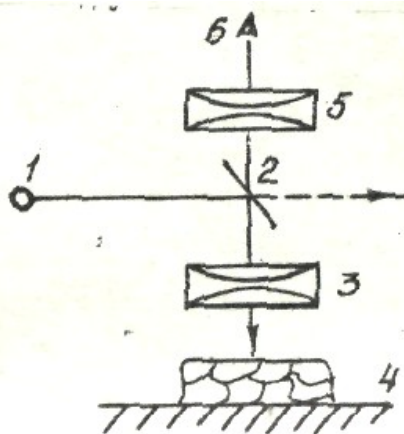


Рис. 2.1.

Часть лучей пройдет прозрачную пластинку и будет потеряна, а часть отразится вниз, пройдет через объектив микроскопа 3 и достигнет поверхности микрошлифа 4. Часть светового потока, достигшего поверхности микрошлифа, будет потеряна /рассеяна или поглощена/, а часть отразится вверх, достигнет поверхности стеклянной пластинки 2, где еще раз произойдет разделение светового потока на две составляющие. Часть его, отраженная влево, теряется бесполезно, часть же, прошедшая через пластинку вверх, после прохождения через окуляр 5 попадает в глаз наблюдателя 6.

Важнейшими характеристиками микроскопа являются:

1/ разрешающая способность, под которой понимается наименьшее расстояние между двумя элементами структуры, воспринимаемое объективом раздельно;

2/ полезное увеличение, т.е. предел увеличения, обеспечивающий приемлемое качество изображения;

3/ общее увеличение, которое может быть определено как произведение увеличений объектива и окуляра.

Наблюдение процессов кристаллизации

В основе кристаллического строения лежит элементарная кристаллическая решетка /ячейка/. При рассмотрении структуры металлов под микроскопом обнаруживаются колонии сросшихся кристаллических образований, называемых зернами. Внутренняя часть этих образований имеет правильную кристаллическую форму, внешняя же часть - форму неправильных многоугольников, обусловленную условиями их роста.

Проследить процессы зарождения и роста кристаллов можно на прозрачных легкоплавких веществах. Обычно для этих целей используют перенасыщенные водные растворы хлористого аммония или хромпика.

Капля подогретого раствора стеклянной палочкой наносится на покровное стекло биологического микроскопа, где сразу наблюдаются происходящие в ней превращения. Эти превращения подчиняются общим законам кристаллизации.

Температура подогретого раствора выше температуры покровного стекла, и следовательно, при охлаждении из перенасыщенного раствора начнут выкристаллизовываться кристаллики вещества.

Нанесенная на покровное стекло капля раствора имеет форму плоско-выпуклой линзы и, следовательно, скорость ее охлаждения в различных зонах будет различной. У тонких краев охлаждение будет наиболее интенсивным. Из теории известно, что с увеличением скорости охлаждения измельчаются растущие кристаллы. Это явление наблюдается не только своим конечным результатом, но и в непрерывной последовательности.

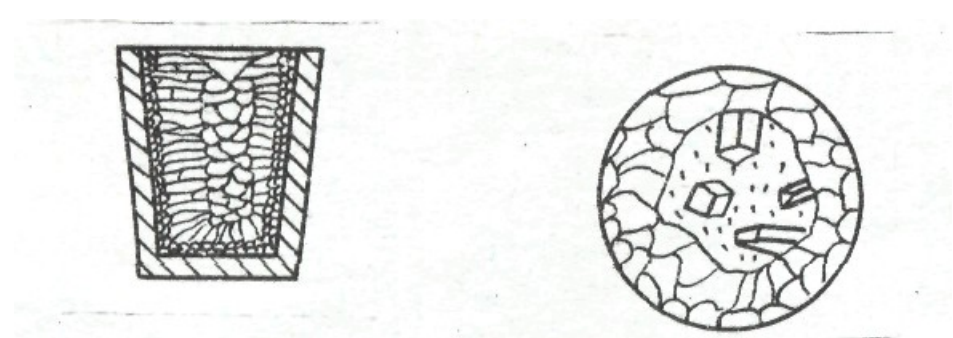


Рис. 2.2. Схема строения слитка

2.3. Схема кристаллизации хромпика

На рис. 2.2. и 2.3 , соответственно приведены схемы строения слитка и кристаллизации хромпика, наблюдаемые под микроскопом. Из сопоставления рисунков отчетливо видна общая закономерность их строения. В периферийной части - мелкие неориентированные кристаллы, за которыми следует зона транскристаллизации, а затем зона равноосных кристаллов. На рис. 2.2. отчетливо видна усадочная раковина, а на рис. 2.3. соответствующая ей свободная от кристаллов зона, образовавшаяся в результате обеднения раствора.



Рис. 2.4. Схема кристаллизации хлористого аммония

Кристаллизация хлористого аммония /рис. 2,4/ протекает по тем же законам, однако вид растущих кристаллов в свободной зоне имеет ярко выраженный дендритный характер.

■ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Растворы солей.
3. Покровные стекла.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Уяснить сущность и назначение структурных методов исследования металлов и сплавов. Изучить теорию кристаллизации.
2. Ознакомиться с принципиальной схемой металлографического микроскопа, освоить его настройку на визуальное наблюдение структуры.
3. Провести наблюдение за характером кристаллизации из перенасыщенного раствора соли.
4. Рассмотреть микроструктуру, привести рисунок структуры наиболее удачно затвердевших капель соли.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. В чем особенность конструкции металлографического микроскопа?
2. Какова принципиальная схема металлографического микроскопа?
3. Что понимается под разрешающей способностью микроскопа?
4. Что понимается под полезным увеличением металлографического микроскопа?
5. Что понимается под общим увеличением микроскопа?
6. Почему периферийные кристаллы хлористого аммония и хромпика значительно мельче центральных?
7. Для чего производится подогрев растворов хромпика и хлористого аммония перед нанесением их на покровное стекло?

Лабораторная работа №3.

Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов

Цель работы: изучение структур чистых металлов и двойных сплавов на примере систем свинец-сурьма, медь-никель и зарисовка их структур.

Металлическими сплавами называют твердые кристаллические тела, состоящие из двух или более компонентов, хотя бы один из которых является металлом. Двойными называют сплавы, образованные двумя компонентами /например, сплав свинца и сурьмы/. Сплавы свинец-сурьма, в зависимости от их структур, определяемых содержанием компонентов, делятся на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

На рис. 3.1. представлена диаграмма состояния сплавов

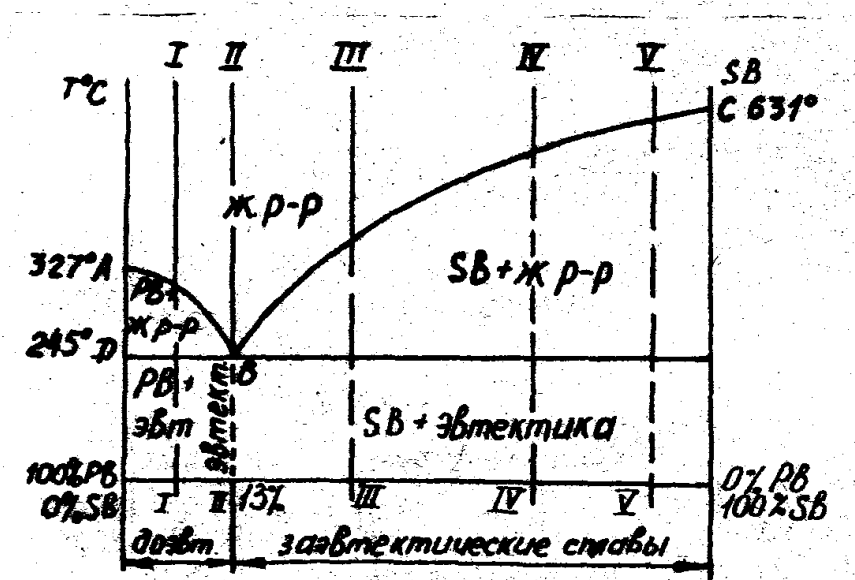


Рис. 3.1. Диаграмма состояния сплавов Pb-Sb

Доэвтектический сплав

К доэвтектическим сплавам относят сплавы, содержащие до 13% Sb. В их структуре содержатся кристаллы свинца /темного цвета/, окруженные светлой свинцово-сурьмянистой эвтектикой.

Эвтектикой в общем случае называют мелкодисперсную механическую смесь двух одновременно кристаллизующихся компонентов при постоянстве их соотношения. Свинцово-сурьмянистая эвтектика образуется:

- а/ при постоянной температуре, равной 245°;
- б/ постоянной концентрации - 13% Sb и 87% Pb.

При внимательном рассмотрении диаграммы /рис. 3.1./ нетрудно установить, что с возрастанием в доэвтектическом сплаве содержания сурьмы в его структуре увеличивается доля эвтектической составляющей и при содержании 13% Sb вся площадь микрошлифа будет занята эвтектикой.

Заэвтектические сплавы

Заэвтектическими называют сплавы, содержащие свыше 13% Sb. В соответствии с диаграммой состояния в структуре заэвтектических сплавов содержатся кристаллы избыточной сурьмы и эвтектика. Эвтектика на фоне светлых кристаллов сурьмы кажется темной. Чем больше в сплаве сурьмы, тем меньшую часть площади микрошлифа занимает эвтектика.

В сплавах - механических смесях, с достаточной для практики точностью, по структуре можно определить химический состав. Если, например, в заэвтектическом сплаве /рис 3.2./, по визуальной оценке, 25% площади микрошлифа занимают кристаллы сурьмы, то на долю эвтектики приходится 75%.



Рис. 3.2. Заэвтектический сплав

Тогда общее содержание сурьмы в сплаве будет составлять $25\%Sb + 75\% \cdot \frac{13\%Sb}{100} = 25\%Sb + 9,75\%Sb = 35\%Sb$ и соответственно количество свинца в сплаве составит $100\% - 35\% = 65\%$.

При рассмотрении твердых растворов, в качестве примера воспользуемся диаграммой состояния системы Cu-Ni, представленной на рис. 3.3.

Диаграмма характеризует двойные сплавы, компоненты неограниченно растворимы друг в друге как в жидком, так и в твердом состояниях. Рассмотрим процесс кристаллизации сплава I-I. При температуре t сплав находится в жидком состоянии. При температуре t_1 выпадает первый кристалл раствора меди и никеля - состав которого соответствует проекции точки m_1 на ось концентраций, к температуре t_2 количество кристаллов возрастает, и их состав будет соответствовать проекции точки m_2 .

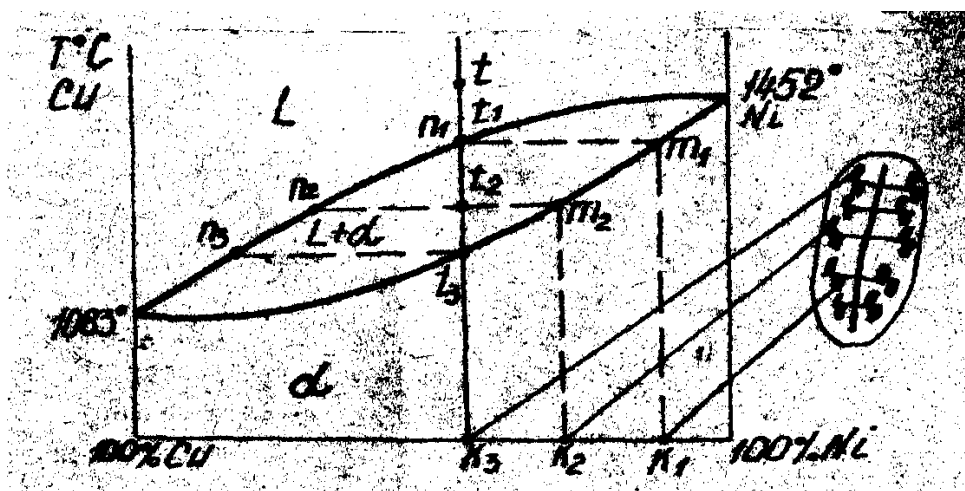


Рис. 3.3. Диаграмма состояния Cu-Ni

Состав остатка жидкости будет соответствовать проекции точки n_2 . К температуре t_3 кристаллизация закончится. Пре этом последняя капля жидкости имела состав проекции n_3 . Химическая неоднородность кристаллов твердого раствора называется дендритной ликвацией. Дендритная ликвация проявляется тем сильнее, чем быстрее охлаждение сплава и чем больше температурный

интервал между линиями ликвидус и солидус. Как правило, дендритная ликвация нежелательна из-за пониженных механических свойств сплава.

Для устранения дендритной ликвации литой сплав подвергают диффузному отжигу с нагревом до температуры, лежащей на 100-150°C ниже линии солидус. В результате диффузии концентрация компонентов выравнивается, дендритное строение исчезает, образуются равноосные однородные зерна.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция микрошлифов:
 - а/ чистый металл;
 - б/ сплав свинец-сурьма;
 - в/ сплав медь-никель /твердый раствор/.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Уяснить значение диаграмм состояния при изучении сплавов.
2. Зарисовать в лабораторных тетрадах структуры сплавов свинец-сурьма с обозначением структурных составляющих.
3. Подсчитать содержание сурьмы и свинца в заэвтектических сплавах - механических смесях.
4. Досмотреть микроструктуру сплавов медь-никель, схематически зарисовать их и оценить влияние диффузионного отжига на изменение структуры.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. На какие виды, в зависимости от содержания Sb, разделяются сплавы Pb-Sb и какова их структура?
2. Каково содержание Sb в эвтектике?
3. Что называется эвтектикой и чем она характеризуется?
4. Как определить содержание Pb в доэвтектическом сплаве?
5. Как определить содержание Sb в заэвтектическом сплаве?
6. В чем отличие структур литого и отожженного сплавов /Cu-Ni /?
7. Что такое металлический сплав?
8. Охарактеризуйте диаграммы состояния I и 2-го типа.
9. В чем отличие структур чистых металлов от структуры металлических сплавов?
10. Что называется сплавами - механическими смесями?
11. Что называется сплавами - твердыми растворами?
12. Основные разновидности сплавов - твердых растворов.
13. Возможные области применения сплавов- механических смесей.
14. Возможные области применения сплавов - твердых растворов.

Лабораторная работа №4.

Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии

Цель работы: ознакомлений с микроструктурами сталей, содержащих различное количество углерода, определение содержания углерода по микроструктуре.

Равновесными называются структуры, в которых полностью завершились диффузионные процессы. Практически это структуры, сформировавшиеся в условиях медленного охлаждения сплавов. Известно, что в таких условиях строятся диаграммы состояния. Применительно к железоуглеродистым сплавам равновесными будут структуры, соответствующие диаграмме состояния железо-углерод.

Углеродистые стали, в зависимости от их структур, определяемых содержанием углерода, делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. На рис. 4.1. представлен нижний стальной угол диаграммы состояния системы железо-углерод. Вертикальными линиями отмечены сплавы, приблизительно соответствующие сплавам, содержащимся в коллекции.

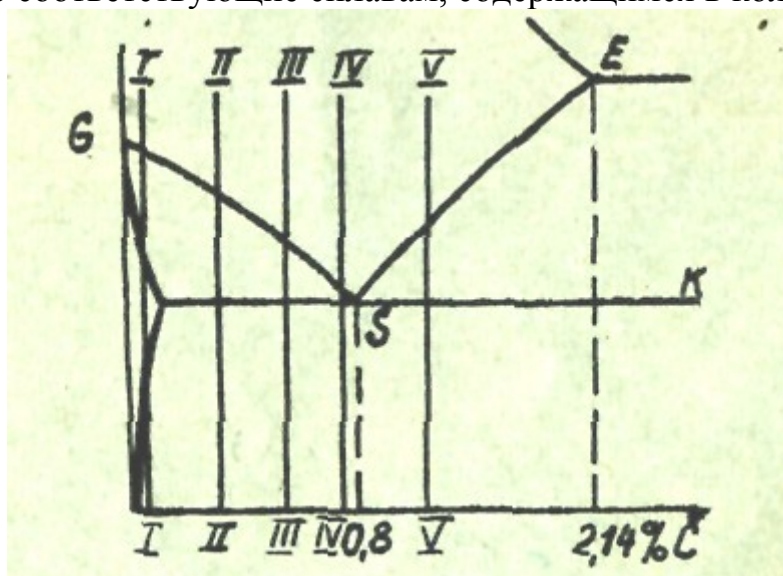


Рис. 4.1. Диаграмма Fe-Fe₃C (область сталей)

При выполнении работы необходимо, прежде всего, определить микрошлифы, составить их описание и предъявить ее преподавателю. Убедившись в правильности своего решения, приступить к зарисовке структур.

Один из микрошлифов /I-I/ представляет сталь с незначительным содержанием углерода, называемую обычно техническим железом /рис. 4.2./.

При внимательном рассмотрении микрошлифа технического железа отчетливо просматриваются зерна, отличающиеся друг от друга интенсивностью светло-серой окраски, хотя все зерна имеют одинаковый химический состав. Различие в их цвете объясняется анизотропностью свойств кристаллов.

Анизотропность проявляется в том, что будучи срезанным плоскостью микрошлифа, различно ориентированные кристаллиты по разному протравливаются реактивом при травлении микрошлифа.

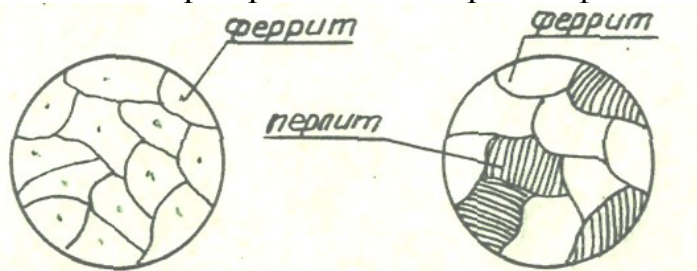


Рис. 4.2. Структура технического железа

Рис. 4.3. Структура доэвтектоидной стали

На рис. 4.3. приведена схема структуры доэвтектоидной стали, где светлыми зернами обозначен феррит, а темными /пластинчатыми/ перлит. Принимая во внимание, что при комнатной температуре в феррите содержится не более 0,01% углерода, можно утверждать, что практически весь углерод содержится в перлите.

С учетом того, что в перлите содержится 0,8% углерода и оценив визуально соотношение площадей, занятых перлитом и ферритом в видимой под микроскопом части микрошлифа, мы можем определить общее содержание углерода в стали, из которой изготовлен рассматриваемый микрошлиф.

Пусть /рис. 4.3./ перлит занимает 50% площади микрошлифа. Требуется определить содержание углерода в представленной этим микрошлифом стали.

Составляем пропорцию:

В 100% перлита углерода содержится 0,8%

В 50% перлите углерода содержится X%

$$\text{Отсюда } X = \frac{0,8 \cdot 50}{100} = 0,4\%$$

Аналогичным образом определяется содержание углерода во всех трех микрошлифах доэвтектоидной стали.

В соответствии с диаграммой состояния, в структуре углеродистой заэвтектоидной стали содержатся перлит и вторичный цементит. Структура отжига /или структура медленно охлажденной из жидкого состояния стали/ имеет сетчатое строение, в которой перлитные зерна окружены тонкой сеткой вторичного цементита /рис. 4.4./.

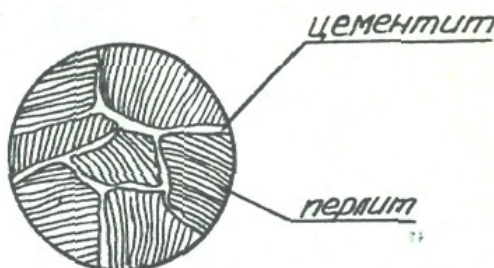


Рис. 4.4. Структуре заэвтектоидной стали

Пластинчатый перлит представляется темными зернами, цементитная сетка представляется тонкой светлой линией.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция микрошлифов:
 - а/ технически одетое железо;
 - б/ доэвтектоидная сталь ;
 - в/ заэвтектоидная сталь.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Вычертить область сталей диаграммы железо-цементит, расшифровать строение сплавов в заданных областях диаграммы.
2. Изучить микроструктуры предложенных областей сталей и обозначить структурные составляющие сплавов.
3. Определить содержание углерода в доэвтектоидных сталях. Обозначить положение этих сплавов на диаграмме вертикальными линиями.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Что называется сталью?
2. На какие виды, в зависимости от содержания углерода, разделяются стали и какова их структура?
3. Каково содержание углерода в перлите?
4. Как определить содержание углерода в доэвтектоидной стали по ее структуре?
5. Что такое феррит, перлит, цементит, аустенит?
6. Чем отличается цементит первичный от вторичного /по условиям образования/?
7. Как можно по структуре равновесной доэвтектоидной стали определить количество содержащегося в ней углерода?

Лабораторная работа №5

Изучение микроструктур чугунов

Цель работы: научиться определять вид чугуна по его структуре.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% углерода. По признакам структуры к чугунам относят высокоуглеродистые сплавы, содержащие эвтектику-ледебурит.

На рис. 5.1. приведена чугунная часть диаграммы железо-углерод.

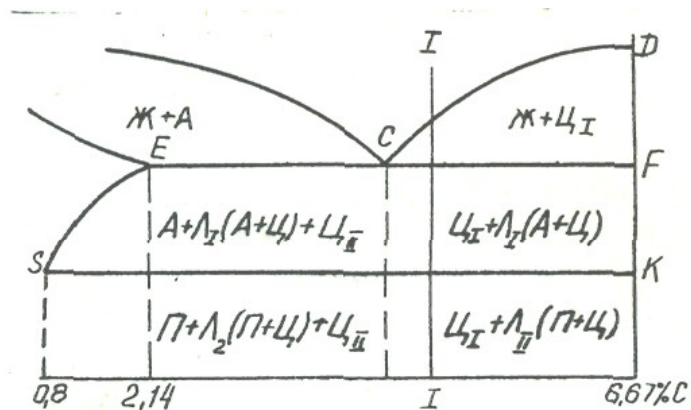


Рис. 6.1. Диаграмма железо-цементит /область чугунов/

В соответствии с диаграммой чугуны разделяются на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Структурные составляющие каждого из видов чугунов приведена на диаграмме, которая характеризует белые или передельные чугуны.

В машиностроении белые чугуны применяются редко, так как они хрупки, плохо поддаются обработке, литейные свойства у них чрезвычайно низкие /большая усадка, плохая жидкотекучесть/.

Представление о структуре белых чугунов дает рис.5.2. По содержанию углерода он соответствует заэвтектическому, так как не содержит структурного свободного перлита, а только ледебурит и небольшое количество цементита. Из последнего обстоятельства следует, что состав приведенного чугуна близок к эвтектическому и примерно соответствует сечению I-I /рис. 5.1/.

Остальные микрошлифы коллекции чугунов являются разновидностями серых чугунов.

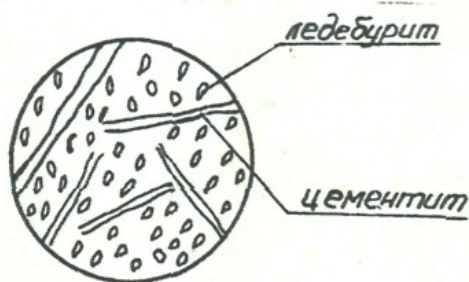


Рис. 5.2 Структура белого чугуна

Серыми называются чугуны, углерод которых полностью или частично находится в свободном состоянии в виде графита. Геометрическая форма графитовых включений может быть различной. У обычных серых чугунов она чешуйчатая, у ковких - хлопьевидная, у высокопрочных - сфероидизированная.

Условия образования различных видов графитовых включений, следовательно, и различных видов чугунов различны.

Для образования чешуйчатой формы графитовых включений необходимо обеспечить оптимальные скорость охлаждения отливок и химический состав чугуна.

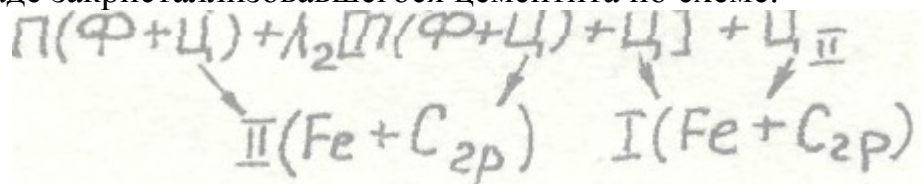
При рассмотрении диаграммы состояния системы железо-углерод мы исходили из предложения, что система двухкомпонентна, т.е. без примесей. В

результате таких условий образуется белый чугун. Это дает основание утверждать, что при наличии только железа и углерода всегда образуется белый чугун.

В реальных технических чугунах таких "идеальных" условий нет, так как они содержат некоторое количество примесей. Примесями могут служить твердые частицы, принимавшие на себя роль центров, около которых начинается рост графитовых включений или элементы-графитизаторы, сильнейшим из которых является кремний, действие которого тем ощутимее, чем в большем количестве он содержится и чем медленнее остывает отливка.

Таким образом вид чугуна определяется его химическим составом и скоростью охлаждения отливки. Легко подобрать такой состав чугуна, когда при медленном охлаждении отливки образуется серый чугун, а при ускоренном - белый. Можно на одной и той же отливке получить зоны белого и серого чугунов.

Для объяснения закономерностей образования свободного углерода можно исходить из различных положений. Самым простым, является положение о распаде закристаллизовавшегося цементита по схеме:



Этот распад определяется условиями, о которых говорилось выше, степень же распада определяет характер металлической основы серых чугунов. По структуре самым сложным из белых чугунов является доэвтектический чугун.

Если представить себе условно распад цементита состоящим из двух стадий, как это показано на схеме, то в результате завершения первой стадии металлическая основа будет перлитной, в результате завершения второй стадии - ферритной. Если же вторая стадия проходит не до конца, то металлическая основа будет перлитно-ферритной.

Из сказанного следует, что во всех трех случаях металлическая основа чугунов будет сталь /эвтектоидная или доэвтектоидная/. То, что металлическая основа изрезана графитовыми включениями не имеющими механической прочности и, следовательно разобщена и определяет повышенную хрупкость серых чугунов. Не взирая на это, серые чугуны в машиностроении распространены достаточно широко. Этому обстоятельству способствует ряд факторов.

1. Экономические соображения. Получать отливки сложной конфигурации из чугуна можно на простом оборудовании.
2. Хорошие литейные свойства серого чугуна /малая литейная усадка и достаточная жидкотекучесть при сравнительно невысокой температуре плавления/.
3. Детали из серого чугуна, именно в силу их изрезанности графитовыми включениями, обладают способностью поглощать вибрации.

4. Серый чугун является антифрикционным материалом, в силу чего из него изготавливают подвижные сопряжения.

Антифрикционность серого чугуна объясняется включениями графита, выполняющими роль смазки и хорошо удерживающими масло, вводимое в сопряжение. В коллекции имеются микрошлифы серых чугунов с чешуйчатым графитом. Металлическая основа одного из них -перлитная, другого - ферритная. Микрошлифы отличаются очень мелкими чешуйками графита. Такой чугун называется модифицированным. Он отличается повышенными механическими свойствами. Получают его введением в ковш с расплавленным чугуном, перед его разливкой, порошка ферросилия.

Ковкие чугуны - одна из разновидностей серых чугунов, его нельзя получить отливкой. В этом отношении он является искусственным чугуном. Сначала получают отливки из белого чугуна специального состава, а затем подвергают их графитизирующему отжигу. Химический состав отливок обычно следующий: 2,4-2,8% углерода, 0,8-1,4% кремния, не более 1,0% марганца. Содержание примесей серы и фосфора не должно превышать соответственно 0,1 и 0,2%. При выборе состава исходят из того, что большее содержание углерода и кремния вызвало бы образование в процессе отжига очень крупных скоплений хлопьевидного графита, резко снизив механические свойства. Содержание марганца, как карбидообразующего элемента, ограничивается 1,0%, что практически соответствует содержанию этого элемента в углеродистой стали. Чугун такого состава не удастся получить в вагранках и его получают в специальных печах, что существенно повышает его стоимость. Однако, наибольший удельный вес стоимости ковких чугунов приходится на долю графитизирующего отжига.

Применительно к ковкому не имеет смысла говорить о чугуне вообще, а только об определенных деталях из ковкого чугуна. Такое ограничение вызвано тем, что однородная структура ковких чугунов возможна только на тонкостенных отливках /до 20 мм/. Название "ковкий" нельзя понимать буквально. Ни один из видов чугунов не куется.

Из ковкого чугуна изготавливают многие детали в машиностроении, строительстве и сантехнике. Например, кожухи дифференциалов и чулки заднего моста автомобилей, направляющие аппараты режущих механизмов комбайнов, тройники и соединительные муфты труб парового отопления и многие другие детали.

Металлическая основа ковких чугунов такая же как у серых чугунов /перлитная, ферритная и перлитно-ферритная/. Определяется она условиями и режимом отжига /рис. 5,3./.

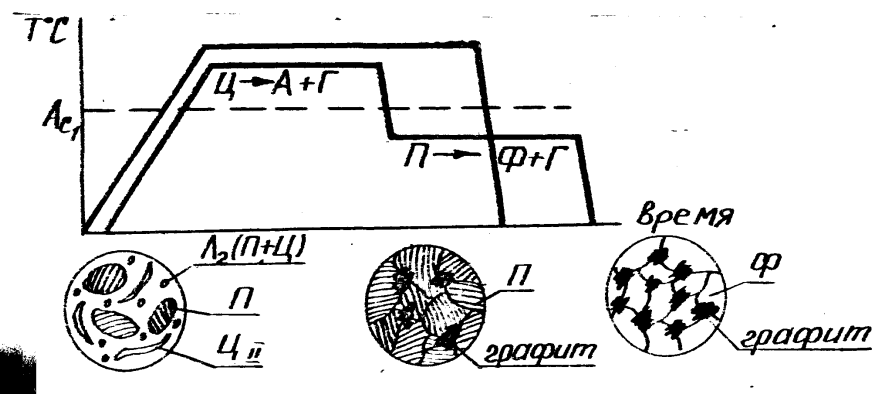


Рис. 5.3. Схема отжига ковких чугунов

В соответствии со схемой /рис. 5.3./ процесс отжига может иметь один или два варианта. По первому варианту в результате выдержки при температуре 930-970° происходит графитизация структурно-свободного цементита /вторичного/. Если после оптимальной выдержки при этой температуре произвести ускоренное охлаждение отливки, то наряду с образовавшимися хлопьями графита, в результате аустенитно-перлитного превращения, на линии A_{c1} в структуре будет содержаться перлит, т.е. образуется ковкий чугун на перлитной основе. Если же осуществить и вторую стадию графитизации, т.е. дать выдержку при температуре, лежащей несколько ниже линии A_{c1} то графитизируется и цементит перлита. В результате металлическая основа ковкого чугуна будет ферритной. Если же вторая стадия графитизации проходит не до конца и часть перлита сохраняется, то металлическая основа ковкого чугуна будет перлитно-ферритной.

Графитизирующий отжиг - операция очень длительная. Она продолжается около 70-80 часов. Разработаны ускоренные и сверхускоренные способы отжига, их продолжительность 10-15 часов. Достигается это подбором состава чугуна, предназначенного для отливок, подлежащих графитизирующему отжигу и режимов термической обработки. Заключается он в том, что перед графитизирующим отжигом производят закалку деталей. В результате закалки образуется множество концентраторов напряжений, около которых, при последующем отжиге образуются колонии хлопьевидного графита. Существенным недостатком этого способа, впервые осуществленного на Московском заводе малолитражных автомобилей, является значительный процент брака из-за закалочных трещин фасонных отливок.

Структура ковкого чугуна, полученного сверхускоренным отжигом, отличается мелкозернистостью, как металлической основы, так и хлопьев графита. Естественным следствием этого будут более высокими механические свойства.

ЗАДАНИЕ

1. Закрепить знания о диаграмме состояния системы железо-углерод, имея четкое понятие о превращении структуры чугуна любого состава от температуры плавления до комнатной.
2. Просмотреть коллекцию микрошлифов и составить ее опись.
3. Зарисовать в лабораторных тетрадях схемы структур коллекции чугунов с обозначением структурных составляющих.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКА:

1. Какие чугуны называются белыми и каковы их разновидности?
2. Почему белые чугуны называются передельными?
3. Какая из структурных составляющих белых чугунов присутствует в белых чугунах любого состава?
4. Каковы структуры доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов?
5. Что такое ледебурит и чем отличается ледебурит первый от ледебурита второго?
6. Какие чугуны называются серыми?
7. От каких факторов зависит вид образующихся при кристаллизации чугунов?
8. Что понимается под металлической основой серых чугунов и каковы ее разновидности?
9. Что называется модифицированным серым чугуном, как его получают и каковы его основные разновидности?
10. Какой чугун называется ковким, почему он так называется и каковы его основные разновидности?
11. Почему ковкий чугун, в отличие от обычного серого, обладает способностью к пластической деформации?
12. Какой из серых чугунов, кроме ковкого, обладает способностью к пластической деформации и какова его характеристика?

Лабораторная работа №6.

Закалка сталей в различных средах

Цель работы: оценить действие различных охлаждающих сред на превращение аустенита при закалке путем контроля твердости.

Охлаждение при закалке должно обеспечить получение структуры мартенсита в пределах заданного сечения изделия и не должно вызывать закалочных дефектов: трещин, короблений, остаточных напряжений в поверхностных слоях и т.д. При закалке для переохлаждения аустенита до температуры мартенситного превращения требуется быстрое охлаждение, но не во всем интервале температур, в котором аустенит менее всего устойчив. Выше 650°C скорость превращения аустенита мала, и поэтому сталь при закалке можно охлаждать в этом интервале медленно, но не настолько, чтобы началось образование Ф+П. Интервал $650^{\circ}\text{-}400^{\circ}\text{C}$ должен быть пройден очень быстро.

В момент погружения изделия в закалочную среду вокруг него образуется пленка перегретого пара; охлаждение происходит через слой этой паровой рубашки, т.е. медленно /плёночное кипение/. При определенной температуре паровая рубашка разрывается, жидкость начинает кипеть на поверхности детали, охлаждение происходит быстро /пузырьковое кипение/. Третий этап, /конвективного теплообмена/ начинается, когда жидкость кипеть уже не может. Закалочная среда тем эффективнее, чем шире интервал второго этапа.

Если интенсивность охлаждения воды в середине второго этапа принять за единицу, то для минерального масла она будет равна 0,3 ; для 10%-ного р-ра NaCl в воде - 3 ; 10%-ного р-ра NaOH в воде - 2,5.

При закалке углеродистой и некоторых низколегированных сталей в качестве охлаждающей среды применяют воду и водные р-ры /8-12%-е/ NaCl или NaOH. Вода, как охлаждающая среда имеет недостаток. Высокая скорость охлаждения в области температур мартенситного превращения приводит к образованию закалочных дефектов. Р-ры NaCl и NaOH обладают наиболее равномерной охлаждающей способностью; кроме этого щелочная среда не вызывает последующей коррозии остальных деталей. Масло, как закаленная среда имеет преимущество: небольшую скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения, что уменьшает возникновение закалочных дефектов. Недостатком является повышенная воспламеняемость.

Структура закаленной стали - мартенсит - получается при резком охлаждении аустенита при закалке. Рассматривая диаграммы изотермического превращения аустенита углеродистой и легированной стали, нетрудно убедиться, что линия начала превращения у легированной стали смещена значительно вправо от оси ординат по сравнению с углеродистой сталью. Следовательно, устойчивость аустенита легированной стали, характеризующая расстоянием от оси ординат до точки К перегиба линии начала перлитного и промежуточного превращения, значительно выше, чем у углеродистой стали.

Если на диаграмме изотермического превращения изобразить скорость охлаждения при закалке в различных средах, они будут иметь вид кривых V_1 ; V_2 ; V_3 . Чем выше скорость охлаждения, тем круче идет кривая. По диаграмме, имеющей кривые скоростей охлаждения, можно судить о структурных превращениях, протекающих в детали из данной стали при

закалке в определенной охлаждающей среде. Пусть V_1 - скорость охлаждения в воде, V_2 – в масле, V_3 - на спокойном воздухе.

Рассмотрим превращение в стали при закалке. Углеродистая сталь имеет малую устойчивость аустенита. При охлаждении ее в воде кривая скорости охлаждения не пересекает линию начала мартенситного превращения. Аустенитная структура сохраняется полностью до начала мартенситного превращения и структура после окончания охлаждения - мартенсит закалки. При охлаждении ее в масле оказывается, что кривая скорости охлаждения пересекает линию начала превращения в области трооститного превращения, но не уходит за линию конца превращения, а при дальнейшем охлаждении пересекает линии начала и конца мартенситного превращения. Следовательно, часть переохлажденного аустенита переходит в троостит закалки, а часть сохраняется до области мартенситного превращения, и структура стали после окончания охлаждения состоит из троостита закалки и мартенсита закалки. Это приводит к понижению твердости и деталь идет в брак.

Если же мы будем охлаждать деталь из этой стали на воздухе, то скажется, что кривая скорости охлаждения пересекает линии начала и конца превращения в области перлитного и сорбитного превращения ; структура стали после охлаждения состоит из перлита и сорбита закалки.

Таким образом, для получения структуры мартенсита закалки мы должны так подобрать охлаждающую среду, чтобы кривая скорости охлаждения не пересекла линии перлитного превращения.

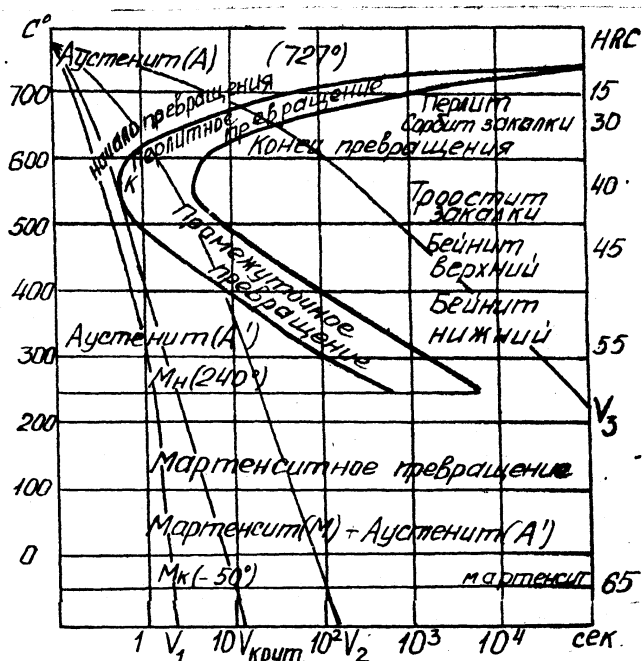


Рис. 7.1. Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали с содержанием 0,8% С

Предельно низкая скорость охлаждения, кривая которой не пересекает линии начала перлитного превращения, а касается ее в точке К , называется

критической скоростью закалки. Для каждой стали критическая скорость закалки есть величина постоянная, но отличная от критической скорости закалки другой стали, и она зависит от наименьшей устойчивости, т.е. от расстояния от оси ординат до точки К в месте изгиба кривой начала превращения. Критическая скорость закалки - наименьшая скорость охлаждения, достаточная для переохлаждения аустенита до начала мартенситного превращения, и, следовательно, для получения структуры мартенсита закалки. При выборе охлаждающей среды для закалки определенной марки стали подбирают среду, дающую скорость охлаждения несколько выше критической для осуществления закалки стали на полную глубину, определяемую прокаливаемостью стали. Излишне высокая скорость охлаждения нежелательна, так как она сопровождается образованием высоких остаточных напряжений и приводит к короблению детали и даже к образованию трещин.

Если выбранная скорость охлаждения ниже критической, то это приводит к понижению твердости из-за образования троосто-мартенситной структуры, что является нежелательным.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛНОСТИ:

1. Электрическая муфельная печь МП-2У.
2. Образцы из стали 50.
3. Твердомер Роквелла.
4. Охлаждающие баки с закалочными средами.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Произвести закалку образцов с температуры 820 градусов в воду, масло, 10%-ный р-р в воде NaCl и на воздухе.
2. Определить твердость образцов после каждого вида обработки.
3. Объяснить полученные результаты, заполнить таблицу.
4. Составить отчет.

Таблица № 4

Таблица зависимости свойств стали от охлаждающей среды

Охлаждающая среда	Твердость до закалки, НВ	Твердость после закалки, НС	Структура
вода			
масло			
воздух			
расплав солей			

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Какие среды применяют для закалки углеродистых, легированных сталей?
2. Как влияет охлаждающая среда на твердость стали?
3. Какая структура получается в результате закалки углеродистой стали в воде, масле, расплавах солей, на воздухе?

Лабораторная работа №7.

Влияние холодной пластической деформации и температуры рекристаллизации на структуру и свойства малоуглеродистой стали

Цель работы:. 1. Изучить влияние пластической деформации на структуру и свойства /твердость/ малоуглеродистой стали.

2. Изучить влияние температуры рекристаллизации на структуру и свойства /твердость/ холоднодеформированной малоуглеродистой стали.

Основными механическими свойствами являются прочность, пластичность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор при проектировании обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность машин и конструкций при их минимальной массе.

Очень важное значение имеет пластичность, определяющая возможность изготовления изделий различными способами обработки давлением, основанным на пластическом деформировании металла. Материалы с повышенной пластичностью менее чувствительны к концентраторам напряжений и другим факторам охрупчивания.

Деформацией называется изменение формы, размеров тела под действием напряжений. Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате фазовых /структурных/ превращений, усадки и других процессов, протекающих в металле, связанных с изменением объема.

Процесс пластической деформации является основой обработки металлов. Пластическая деформация, каким бы способом она не производилась /растяжением, сжатием, изгибом, прокаткой, волочением и т.д./ вызывает искажение кристаллической решетки, изменяет форму зерен и, образуя структуру, приводит к изменению всех свойств металлов и сплавов.

Характеристики прочности /твердость, предел прочности с увеличением степени пластической деформации растут ; характеристики пластичности и вязкости /относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость/ падает.

В процессе пластической деформации изменяются многие физические свойства: уменьшается удельный вес, сопротивляемость коррозии, магнитная проницаемость и т.д.

Упрочнение металлов и сплавов, полученное в процессе пластической деформации, называется нагартовкой или наклепом.

Пластически деформированный металл по сравнению с недеформированным будет находиться в равновесном, термодинамически неустойчивом состоянии. Поэтому даже при комнатных температурах в нагартованном материале протекают самопроизвольные процессы, приводящие деформированный металл в более устойчивое состояние, например, процессы старения.

При повышенных температурах эти процессы протекают быстрее. При незначительном нагревании исчезают упругие искажения кристаллической решетки, что вызывает некоторое снижение прочности и повышение пластичности нагартованного материала. Структура при этом не изменяется.

Частичное восстановление механических свойств /на 20-30%/ за счет снятия упругих искажений кристаллической решетки без заметного изменения структуры называется отдыхом или возвратом.

При более высоких температурах, определенных для каждого материала, начинается процесс образования новых зерен, взамен волокнистой структуры. При этом происходит полное разупрочнение деформированного материала. Механические и физические свойства приобретают прежние значения. Этот процесс называется рекристаллизацией.

Температура рекристаллизации зависит от природы основного метал/а, наличия и количества легирующих элементов, степени предшествующей деформации. Чем больше степень деформации, тем сильнее измельчается структура, тем меньше ее устойчивость, тем больше ее стремление принять устойчивое состояние. Следовательно, большая степень деформации облегчает процесс рекристаллизации. При большей степени деформации для чистых металлов минимальная температура рекристаллизации $T_{рек} = 0,4T_{пл}$. Для сплавов $T_{рек} = /0,6 - 0,8/T_{пл}$, где $T_{пл}$ - абсолютная температура плавления.

Процессы рекристаллизации подчиняются общим законам кристаллизации, т.е. протекают путем возникновения новых зародышей /центров кристаллизации/ и последующего их роста.

Процесс рекристаллизации связан с большой подвижностью атомов и требует для своего развития перемещения атомов от одного зерна к другому.

Та стадия рекристаллизации, при которой все деформированные зерна заменяются новыми стабильными, называется рекристаллизацией обработки. При более высоких температурах начинается собирательная рекристаллизация, которая заключается в росте крупных зерен за счет поглощения мелких, термодинамически менее устойчивых зерен. Температура рекристаллизации имеет огромное практическое значение.

Чтобы пластическая деформация создавала в материале упрочнение /наклеп/, она должна осуществляться при температурах ниже температуры рекристаллизации. Такая обработка называется холодной.

Если же обработка давлением осуществляется при температурах выше температуры рекристаллизации, то возникающее при деформации упрочнение будет сниматься процессом рекристаллизации и материал разупрочняется. Такая обработка давлением называется горячей.

В результате горячей обработки давлением наклепа не возникает. Температуру горячей обработки давлением выбирают значительно выше температуры рекристаллизации, т.к. при практически применяемых скоростях деформации процесс рекристаллизации при низких температурах за короткое время не успевает устранять упрочнение, полученное в процессе обработки плавлением.

Величина зерна после рекристаллизации зависит от температуры рекристаллизационного отжига и степени предшествующей пластической деформации.

Чем выше температура рекристаллизационного отжига, тем больше величина зерна. При определенной степени деформации, после рекристаллизационного отжига, можно получить крупное зерно. Степень деформации, при которой получают крупное зерно после процесса рекристаллизации называется критической степенью деформации. Для большинства металлов и сплавов она составляет от 3 до 15%.

Критической степени деформации следует избегать, т.к. она после рекристаллизационного отжига, применяемого для снятия наклепа, дает крупнозернистую структуру, обладающую пониженной ударной вязкостью.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Электрические муфельные печи.
2. Образцы из малоуглеродистой стали.
3. Микрошлифы, изготовленные из той же стали, что и образцы до пластической деформации, после холодной пластической деформации на степень 50-70% и после рекристаллизационного отжига при 500 и 700°C в течение 45 мин.
4. Твердомер ТК-2.
5. Твердомер ТШ-2.

6. Микроскоп металлографический.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Произвести холодную пластическую деформацию на приборе Бринелля путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10 мм с нагрузкой 187, 250, 500, 1000 и 2000 кг на одном образце и с нагрузкой 2000 кг на четырех образцах стали 10.
2. Измерить твердость пластически деформированного на различную степень образца и исходной структуры. Замер твердости производить с нагрузкой 100 кг на приборе Роквелла в центре каждого сферического отпечатка и на недеформированной поверхности.
3. После пластической деформации с нагрузкой 2000 кг произвести отжиг образцов. Для этого заложить по одному образцу в печи, предварительно нагретые до 400, 550, 650, 750°C на 45 мин. После выдержки замерить твердость в центре сферического отпечатка на приборе Роквелла.
4. Результаты замера твердости образцов после пластической деформации и после проведения отжига записать в таблицу.
5. По данным таблицы построить график влияния холодной деформации на твердость малоуглеродистой стали и график влияния температуры нагрева на твердость пластически деформированной малоуглеродистой стали.
6. Зарисовать структуру стали 10 до пластической деформации, после холодной пластической деформации и после рекристаллизационного отжига.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

6. Что называется пластической деформацией?
7. Как изменяются характеристики прочности с изменением степени пластической деформации?
3. Что называется наклепом, возвратом, отдыхом, рекристаллизацией?
4. Как влияет температура отжига на процесс рекристаллизации?

Лабораторная работа №8.

Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей

Цель работы: ознакомить студентов с микроструктурами неравновесных / термически обработанных/ сталей и сталей, полученных в результате полного и циклического отжига, перегреве, обработке давлением, цементации.

Все превращения в сплавах, соответствующие диаграмме состояния железо-цементит, протекают при медленном охлаждении, поэтому они

успевают полностью завершиться при температурах, указанных на диаграмме, и, вследствие этого, получаются равновесные структуры.

Если при отжиге нагреть изделие значительно выше линии $A_{сз}$, то зерна аустенита могут вырасти до крупных размеров. После охлаждения получится грубая, крупнозернистая структура. Сталь с такой же структурой обладает пониженной пластичностью. Иногда ферритные выделения имеют вид игл. Такая структура называется видманштеттоной.

Студент должен разобраться в теоретических основах термической обработки как правильно надо выполнять термическую обработку, что происходит с аустенитом при быстром или медленном его охлаждении.

Необходимо отчетливо представлять такие структуры, как сорбит, троостит, мартенсит, чем они отличаются друг от друга, какими свойствами обладают и как их можно получить.

Необходимо помнить, что полный отжиг применяют для доэвтектоидной стали, а неполный - для заэвтектоидной. В результате неполного отжига цементит получается в виде зерен, такой отжиг называется сфероидизацией. Получению зернистого цементита способствует, предшествующая отжигу, горячая пластическая деформация, при которой цементитная сетка дробится. Сталь с зернистым цементитом лучше обрабатывается режущим инструментом и приобретает хорошую структуру после закалки. Если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым, применяют так называемый циклический, или маятниковый отжиг. В этом случае после нагрева выше $A_{с1}$ изделие охлаждают до температуры примерно 680°C , затем вновь нагревают до $740-750^{\circ}\text{C}$ и опять охлаждают до 680°C , повторяя циклы нагрев-охлаждение несколько раз. В результате перлит получается зернистым, и сталь будет пластичной.

Обратить внимание на строчечную структуру стали. Знать, что такая структура образуется при обработке металлов давлением /прокатка, ковка/. После такой обработки получают волокна, вытянутые вдоль направления деформации. Некоторые механические свойства поперек волокна оказываются ниже, чем вдоль /прочность, ударная вязкость, сопротивление текучести/, что обусловлено наличием неметаллических включений /нитриды, оксиды, сульфиды/, которые, располагаясь вдоль направления прокатки, создают очаги концентраций напряжений. Это явление носит название анизотропии механических свойств. Для устранения строчечности применяют диффузионный отжиг, который состоит в длительном нагреве стали при высоких температурах / $1000-1200^{\circ}\text{C}$ /.

Необходимо изучить процесс химико-термической обработки -цементации. Знать, что цементации подвергают низкоуглеродистые стали с целью получения твердого и износостойкого поверхностного слоя и вязкой сердцевины. Цементацией добиваются выгодного распределения углерода по поверхности. После цементации проводят закалку с низким отпускком.

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо изучить микроструктуру следующей коллекции шлифов:

1. Сталь отожженная.

2. Сталь нормализованная.
3. Сталь, закаленная на мартенсит.
4. Сталь, закаленная и отпущенная на троостит.
5. Сталь, закаленная и отпущенная на сорбит.
6. Сталь, отожженная на пластинчатый перлит.
7. Сталь, отожженная /циклический отжиг/ на зернистый перлит.
8. Сталь перегретая /видманштеттова структура/.
9. Сталь со строчечной структурой.
10. Сталь, подвергнутая химико-термической обработке - цементации.

При изучении микроструктур необходимо:

1. Обратить внимание на разницу в величине зерен у стали отожженной и нормализованной и отразить на рисунках.
2. Обратить внимание на различие по структуре и свойствам у стали, закаленной и отпущенной на 400° и 600°C .

Уяснить, от чего зависит пластинчатая и зернистая форма перлита и какое это имеет значение.

Запомнить, что сталь с видманштеттовой структурой имеет крупные зерна, причем они напоминают по форме различные геометрические фигуры. Когда сталь имеет строчечную структуру, зерна вытянуты в линии.

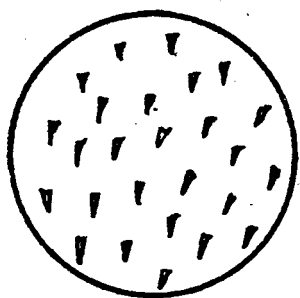
Цементованную сталь изобразить в прямоугольнике, показав все зоны от середины к краю, для этого после настройки микроскопа шлиф надо немедленно передвигать, чтобы увидеть все зоны и зарисовать их.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

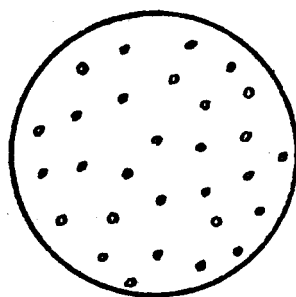
1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция шлифов /см. содержание работы/.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

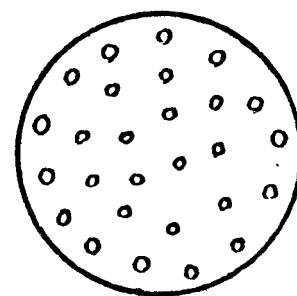
1. Установить шлиф на предметный столик микроскопа и настроить микроскоп.
2. Зарисовать видимую под микроскопом микроструктуру, указать стрелками различные структурные составляющие /фазы/.
3. Сталь закаленную, отпущенную на 400°C и 600°C , зарисовать условно следующим образом:



закаленная на



отпущенная на



отпущенная на

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. В чем отличие структур после отжига и нормализации у стали 40?
2. В результате какой термической операции получается структура мартенсита? Что называется мартенситом?
3. В результате какой термической операции образуется троостит? Что называется трооститом?
4. В результате какой термической обработки образуется структура сорбита? Что называется сорбитом?
5. В чем отличие структур мартенсита закалки от мартенсита отпуска, сорбита закалки от сорбита отпуска?
6. С какой целью производят циклический отжиг?
7. Что называется перегревом и какова структура перегретой стали?
8. Как получается строчечная структура?
9. Цель и назначение цементации?

Лабораторная работа №9.

Изучение микроструктур цветных сплавов

Цель работы: ознакомить студентов с микроструктурами и маркировкой цветных сплавов.

Все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов, относятся к цветным.

Сплавы на основе меди и алюминия составляют основную группу применяемых в машиностроении цветных сплавов. Эти сплавы разнообразны и в большинстве случаев имеют сложный состав.

Основными структурными составляющими медных и алюминиевых сплавов являются твердые растворы, механические смеси, химические или интерметаллические соединения.

Структура цветных сплавов по сравнению со структурой сталей отличается большим размером зерен, поэтому микроанализ их производится при увеличении в 100, 200 раз. Структурные составляющие многих цветных сплавов под микроскопом имеют одинаковый вид, что затрудняет микроанализ и требует предварительных данных об их составе и термообработке.

Алюминиевые сплавы

Малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость, высокие показатели удельной /относительной/ прочности алюминиевых сплавов обеспечивают их широкое применение во всех областях техники в качестве конструкционного материала.

Все алюминиевые сплавы в зависимости от технологии изготовления из них полуфабрикатов и деталей делятся на две группы: деформируемые и литейные.

I. Деформируемые /дуралюмин и кованные/ - сплавы алюминия с медью, магнием и другими элементами /железом, марганцем, кремнием/. К этим сплавам, в основном, предъявляются два требования: высокая прочность и способность поддаваться пластической деформации. Деформируемые сплавы алюминия готовят в виде листов, лент, профилей, прутков, труб, проволоки и в виде поковок. Наиболее распространенным является дуралюмин, который после термообработки /закалка-старение/ дает высокую прочность. Для повышения коррозионной стойкости, изделия из дуралюмина подвергают плакированию. Микроструктура отожженного дуралюмина содержит свет зерна твердого раствора и темные включения Mg_2Si , $CuAl_2$, $FeAl_3$. После закалки структура содержит только зерна α - твердого раствора. При старении по границам зерен выделяются мелкие фазы $CuAl_2$, $CuMgAl_2$, чем и объясняется резкое повышение свойств дуралюмина после термообработки.

Марки деформируемых сплавов: Д1, Д2, Д6, АК2, АК4.

2. Литейные /силумины/ - сплавы алюминия с кремнием /до 14%Si/ применяют для фасонного литья. Требования к ним следующие: хорошая жидкотекучесть, малая усадка, высокая прочность, хорошая обрабатываемость. Высокая прочность силуминов достигается после модифицирования натрием и термообработки /закалка + искусственное старение/. Добавка меди повышает механические свойства и обрабатываемость.

Микроструктура силуминов содержит светлые пятна твердого раствора и эвтектику из твердого раствора и кремния.

Марки литейных сплавов: АЛ2, АЛ4, АЛ17В, АЛ8, В300 и т.д.

Медные сплавы

Чистая медь применяется в качестве электропроводящего, теплопроводящего и уплотнительного материала. Марки М1, М2. В промышленности широкое применение нашли сплавы меди: латуни и бронзы.

I. Латунь - сплав меди с цинком. Техническое применение имеют сплавы, содержащие до 45% цинка. При содержании цинка до 39% будет однофазная латунь /пластинчатая/, она может применяться для производства тонких листов и проволоки. Структура однофазной латуни после отжига состоит из характерных зерен твердого раствора с двойниками. Различная

окраска зерен объясняется анизотропией свойств. Если цинка в латуни содержится более 39%, то это будет двухфазная латунь /хрупкая/, может применяться для прокатки в горячем состоянии. Структура двухфазных латуней состоит из светлых зерен твердого раствора α , окруженного твердым раствором β . Применяют также специальные латуни, содержащие и другие элементы: алюминий, свинец, олово и т.д. Марки латуней -Л170, Л92, Л62, ЛС59-1 и т.д.

2. Бронзы – сплав меди со всеми элементами, кроме цинка с Al, Be, Sn, Pb, P, Fe, Mn, Si. В зависимости от элемента, введенного в медный сплав, бронзы бывают алюминиевые, оловянистые, свинцовые, бериллиевые, кремнистые.

Бронзы обладают высокой коррозионной устойчивостью и хорошей обрабатываемостью резанием. Многие из них имеют хорошие литейные свойства и высокие антифрикционные свойства.

Большое разнообразие бронз и различное влияние добавок и видов обработки на структуру бронзы значительно затрудняет их металлографический анализ. Микроструктура конкретной бронзы определяется диаграммой состояния и термообработкой. При малом содержании элементов получают однофазные бронзы, имеющие структуру однородного твердого раствора. При количестве элементов, превышающем необходимое для образования твердого раствора, получают двухфазные бронзы, имеющие структуру из твердого раствора и эвтектоида.

Марки бронз - Бр.0Ф10-1, Бр.АЖц10-3-15, БрКМц3-1, Бр.Б2.

Подшипниковые сплавы

Требования, предъявляемые к подшипниковым сплавам: высокие механические свойства при рабочих температурах подшипников, способность удерживать смазку, коррозионная стойкость в среде масел с кислотами, хорошая теплопроводность, высокие технологические свойства. К числу подшипниковых сплавов относятся баббиты, бронзы оловянистые и свинцовистые, порошковые сплавы из железного или бронзового порошка с графитом, пропитываемые маслом, антифрикционные чугуны.

Одним из наиболее известных и применяемых подшипниковых сплавов является баббит. Баббит - это антифрикционный сплав на основе олова и свинца. Баббиты бывают оловянные, свинцовые, кальциевые и алюминиевые. Лучшим антифрикционным сплавом является баббит Б83, содержащий 83%Sn, 11%Sb, 6%Cu. Медь введена в сплав для предотвращения ликвации и для образования твердых структур. При охлаждении сплава вначале кристаллизуется Cu_6Sn_5 в виде игл, образуя скелет. Затем кристаллизуется β -фаза /твердый раствор на SnSb/ в виде квадратов и треугольников и тройная эвтектика, являющаяся мягкой основой для более твердых усатков β -фазы и игл Cu_6Sn_5 . Подобная структура очень благоприятна для подшипниковых сплавов и обеспечивает им необходимые эксплуатационные свойства. Этот баббит применяется для подшипников в машинах с большой мощностью.

В настоящее время для наиболее ответственных подшипников применяют дву- и триметаллические, а также накатанные подшипники.

Припои

Припои - это сплавы, применяемые для пайки металлов. Требования, предъявляемые к припоям: сравнительно невысокая температура плавления, достаточная смачиваемость расплавленным припоем металла, подвергаемого пайка. Припои делятся на мягкие и твердые.

1. Мягкие припои имеют температуру плавления до 500°C, представляют собой сплав олова со свинцом /ПОС 30, олова с цинком ПОЦ-70/. Недостатки: низкая механическая прочность напаянного шва и коррозионная стойкость. Для увеличения коррозионной стойкости шва применяется в качестве припоя чистое олово.

2. Твердые припои имеют температуру плавления до 900°C, представляют собой сплав серебра с медью, серебра с цинком и латуни. Прочность шва повышенная. Марки - ПСр45, Л62.

В лабораторной работе необходимо изучить микроструктуру и маркировку бронз, латуней, баббитов, силуминов /до-и после модифицирования/.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция шлифов.
3. Атлас микроструктур.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЙ РАБОТЫ:

1. Изучить маркировку цветных сплавов. Расшифровать обозначение каждого сплава коллекции.
2. Установить шлиф на предметный столик микроскопа и настроить микроскоп.
3. Зарисовать видимую под микроскопом микроструктуру и указать стрелками структурные составляющие.
4. Расшифровать предложенные преподавателем марки цветных сплавов.
5. Оформить отчет и предъявить преподавателю.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Что называется бронзой?
2. Как классифицируются и маркируются бронзы?
3. Где применяются бронзы?
4. Что называется латунью?
5. Как классифицируются и маркируются латуни?

6. Каково предельное содержание цинка в латуни?
7. Как изменяются механические свойства латуни с повышением содержания цинка?
8. Где применяются латуни?
9. Что называется баббитом?
10. Где применяются баббиты?
11. На чем базируется антифрикционность баббита?
12. Что называется модифицированием, как оно проводится и какова его сущность?
13. Как влияет модифицирование на структуру и свойства силумина?

Лабораторная работа № 10

Изучение диаграмм двойных сплавов

Целевое назначение: изучение структур двойных сплавов, уяснение значения диаграмм состояния при изучении сплавов и превращений в них.

Содержание: Каждому студенту предлагается одна из диаграмм (табл. I), изображение которой есть в приложении.

При выполнении задания необходимо:

1. Вычертить диаграмму состояния указанной системы.
2. Указать структурные составляющие во всех областях диаграммы.
3. Для сплава с указанной концентрацией компонентов построить кривую охлаждения или нагревания с применением правила фаз.
4. Описать структуру сплава при комнатной температуре и превращения, происходящие при его охлаждении или нагревании.
5. Выбрав из заданного сплава любую температуру, лежащую между линиями ликвидуса и солидуса, и определить:
 - а) состав фаз;
 - б) количественное соотношение.

Таблица I

№ задания	система	кривая	сплав для построения кривой охлаждения (нагревания)
I	2	3	4
I.	Al-Si	охл.	10 % Si
2.	Al-Cu	нагр.	20 % Cu
3.	Sn-Zn	нагр.	85 % Zn
4.	Al-Ge	охл.	10 % Ge
✓ 5.	Pb-Sn	нагр.	5 % Sn
6.	Pb-Sb	охл.	50 % Sb
7.	Cu-Ag	нагр.	25 % Ag
8.	Pb-Mg	охл.	10 % Mg
9.	Cu-Ni	нагр.	40 % Ni
10.	Mg-Ca	охл.	4 % Ca
II.	Al-Si	нагр.	4 % Al

I	2	3	4
I2.	Al-Cu	охл.	6 % Al
I3.	Sn-Zn	нагр.	50 % Sn
I4.	Al-Ge	охл.	80 % Ge
I5.	Pb-Sn	нагр.	4 % Pb
I6.	Pb-Sb	охл.	30 % Pb
I7.	Cu-Ag	нагр.	12 % Cu
I8.	Pb-Mg	охл.	10 % Pb
I9.	Cu-Ni	нагр.	40 % Cu
20.	Mg-Ca	охл.	10 % Mg
21.	Mg-Ca	нагр.	45 % Mg
22.	Pb-Mg	охл.	40 % Pb
23.	Pb-Sn	нагр.	30 % Sn
24.	Al-Si	охл.	95 % Si
25.	Al-Cu	охл.	40 % Cu

Лабораторная работа № 11 Изучение диаграммы железо-углерод

Целевое назначение: детальное усвоение системы железо-углерод, характеризующей важнейшие и наиболее распространенные технические сплавы - сталь и чугун. Уяснение физической сущности превращений системы в различных зонах температур, на которых основывается термическая обработка.

Содержание: Из системы сплавов железо-углерод каждому студенту предлагается четыре справа (табл. 2) с различным содержанием. Два из них являются сталями и два чугунами.

При выполнении задания необходимо:

1. Вычертить диаграмму железо-углерод с обозначением структурных составляющих.
 2. Провести на диаграмме четыре вертикальные линии, соответствующих заданному содержанию компонентов.
 3. Для каждого справа построить кривые охлаждения (слева от диаграммы для сталей, справа - для чугунов), проектируя критические точки диаграммы на ординату кривой охлаждения.
 4. Для каждой из характеристик областей изобразить схемы структур каждого из сплавов (от жидкого состояния до комнатной температуры). При изображении структур согласовать, там где это возможно, процентное содержание компонентов с количественным соотношением структурных составляющих (по занимаемой им площади).
 5. Пользуясь правилом фаз, обосновать характер кривых охлаждения и протекающих превращений.
- Состав сплавов представлен в таблице.

Таблица 2

% содержание сплавов для выдачи задания по диаграмме железо-углерод

№ зацаний	содержание углерода в сплаве, %			
	1-й сплав	2-й сплав	3-й сплав	4-й сплав
1	2	3	4	5
I.	0,05	1,15	3,00	5,4
2.	0,10	1,45	3,6	5,8
3.	0,20	1,60	4,3	6,3
4.	0,15	0,85	2,4	4,4
5.	0,25	1,20	3,1	6,2
6.	0,30	0,90	2,5	6,1
7.	0,35	1,55	2,9	5,9
8.	0,40	1,25	2,6	4,5
9.	0,45	1,10	4,20	6,0
10.	0,50	0,95	2,70	5,6
11.	0,55	1,00	3,20	4,9
12.	0,60	1,05	2,8	5,2
13.	0,65	1,50	4,1	5,7
14.	0,70	1,30	3,3	5,0
15.	0,75	1,35	3,4	5,5
16.	0,15	1,20	3,7	4,6
17.	0,80	1,40	3,9	5,3

I	2	3	4	5
18.	0,65	0,95	3,8	4,7
19.	0,50	1,25	4,0	5,1
20.	0,75	0,90	3,5	4,8
21.	0,80	0,85	2,1	4,3
22.	0,70	1,00	4,2	6,0
23.	0,55	1,05	3,4	4,5
24.	0,60	1,60	3,3	6,0
25.	0,10	1,50	2,8	4,4

Лабораторная работа № 12

Изучение процессов термической обработки легированных сталей

Целевое назначение: умение применить знания теории термической обработки к решению, практических задач по выбору режимов термообработки для деталей различного назначения.

Каждому студенту предлагается марка материала, предназначенного для изготовления изделий указанного в таблице 3 наименования.

При выполнении задания необходимо:

1. Расшифровать состав и определить к какой группе относится данный материал по назначению.
2. Назначить режим термической обработки, привести подробно его обоснование, объяснить влияние входящих в данную марку легирующих элементов на превращения, происходящие при термической обработке.
3. Описать микроструктуру и главные свойства после термической обработки.

Таблица 3.....

№ задания	наименование изделия	марка материала
I	2	3
I.	пружины	Сталь 55ГС

I	2	3
2.	метчики	Сталь P18
3.	протяжки	Сталь P9
4.	вкладыши подшипников скольжения	Сплав Б83
5.	пуансоны штампов, работающих без интенсивного охлаждения	Сталь 5X3B3MФC
6.	молотовые штампы небольших размеров	Сталь 4X3BМФ
7.	штампы для высадки	Сталь 4X5MФC
8.	пилы для работы по металлу	Сталь B2Ф
9.	чеканочные штампы	Сталь 6XС
10.	скальпели хирургические	Сталь 9X18
11.	шары дробильных мельниц	Сталь П13
12.	подшипники качения	Сталь ШХ15СГ
13.	пружины	Сталь 65ГА
14.	детали, работающие в агрессивных средах	Сталь 15X25T
15.	детали, работающие в агрессивных средах	Сталь 12X18Н10Т
16.	детали, работающие при T° до 600°C	Сталь 11X11Н2ВМФ
17.	выпускные клапаны двигателей внутреннего сгорания	Сталь 45X14Н14В2М
18.	рессоры	Сталь 60СГ
19.	фризы	Сталь P18Ф2
20.	шестерни, которые должны иметь износостойчивый слой при вязкой сердцеvine	Сталь 20Г

Лабораторная работа № 13

Практика термической обработки стали

Цель работы: освоить практику термической обработки, изучить влияние вида термической обработки на структуру и твердость стали. Определить оптимальную температуру заковки, изучить влияние температуры нагрева под заковку на структуру и твердость стали.

Термической обработкой называются операции нагрева, выдержки и охлаждения с заданной скоростью металлических сплавов с целью получения требуемого комплекса свойств за счет изменения структуры.

Всякая термическая обработка задается -режимом. В понятие режима входят следующие элементы: скорости нагрева, температура нагрева, продолжительность выдержки, скорость охлаждения /или охлаждающая среда/. Режим термообработки всегда может быть задан графически в координатах температура-время /рис. 6.1./.

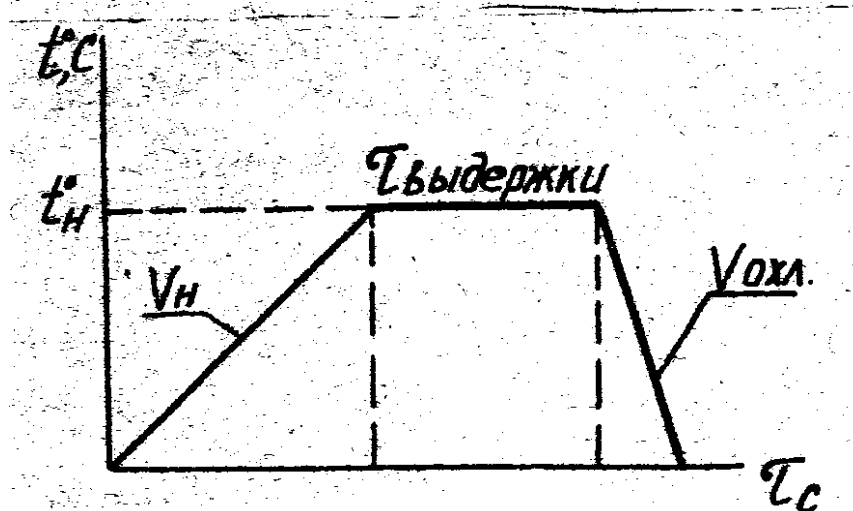


Рис. 6.1. Графическое изображение простейшего режима термической обработки

Основными видами термической обработки, различно изменяющими структуру и свойства стали и назначаемыми в зависимости от требований, предъявляемых к полуфабрикатам /отливкам, поковкам, прокату и т.д./ и готовым изделиям являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Таблице I

Нормы нагрева стали при термической обработке в лабораторных электрических печах

Температура нагрева	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	продолжительность нагрева в минутах		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: электрические муфельные печи, образцы стали для термообработки, твердомер ТК-2, микроскопы МИМ-7, закалочный бак с водой, клещи, абразивная шкурка.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Определить время выдержки образцов в печи по таблице I.
2. Образцы загрузить в печи с температурой 600°, 740°, 820°, 900°.
3. Произвести закалку.
4. Закаленные образцы в местах замера твердости и на противоположной стороне зачистить от окалины.
5. Замерить твердость закаленных образцов.
6. Заполнить таблицу и вычертить график зависимости твердости стали от температуры нагрева под закалку.

Таблица 2

Таблица зависимости твердости стали от температур нагрева под закалку

№ п/п	Т нагрева	Твердость до закалки	Время выдержки в печи	Закал. среда	Твердость после закалки
1					
2					
3					

7. Изучить структуру стали в результате закалки при разных температурах на готовых шлифах и по атласу микроструктур.
8. Произвести отжиг и нормализацию образцов
9. Закаленные образцы поместить в печи с разной температурой для проведения отпуска стали.
10. Произвести низкий, средний и высокий отпуск стали.
11. Проследить влияние вида термообработки на структуру стали на готовых микрошлифах и по атласу микроструктур. Зарисовать структуру
- 12.. Измерить твердость термически обработанных образцов.
13. Заполнить таблицу влияния вида термообработки на твердость стали по приведенной ниже форме.

Таблица 3

Вид термообработки	Т нагрева	Время выдержки	Охлаждающая среда	Твердость после термообработки	Предполагаемая структура
Отжиг					
Нормализация					
Закалка					
Низкий отпуск					
Средний отпуск					
Высокий отпуск					

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Какие параметры характеризуют режим обработки?
2. Температура, нагрева эвтектоидной стали 750°C , охлаждение в воде. Какой это вид термообработки?
3. Какие основные параметры определяют распад аустенита при охлаждении стали?
4. Перечислите возможные продукты распада аустенита при охлаждении стали.
5. В чем различие в фазовом составе перлита, сорбита и троостита?
6. Напишите, сколько содержится углерода в цементите?
7. Какая структура обеспечивает наибольшую твердость стали?
8. Что называется мартенситом?
9. Какова структура стали с $1,1\% \text{ C}$ после полной закалки?
10. Содержится ли в структуре закаленной стали с $0,5\% \text{ C}$ остаточный аустенит?
11. Какая структура обеспечивает наибольшую твердость стали? /перлит, троостит, сорбит/.
12. При каких температурах отпуска заканчивается распад мартенсита в углеродистых сталях?
13. Чем объясняется понижение твердости закаленной стали по мере повышения температуры отпуска выше 450°C ?
14. Чем отличается структура сорбита отпуска от структуры сорбита, полученного при распаде аустенита? '
15. Что такое низкий отпуск? В каких случаях он используется?
16. В чем заключается сущность термической обработки, называемой улучшением?
17. Какова цель проведения отпуска?
18. Что отличает структуру сорбита от структуры зернистого перлита?

Лабораторная работа № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ МЕТОДОМ ТОРЦЕВОЙ ЗАКАЛКИ

Цель работы: научиться определять прокаливаемость стали методом торцевой закалки.

Скорость охлаждения стального изделия, погруженного в закалочную жидкость, максимальна в поверхностных слоях и уменьшается к центру; соответственно скорости охлаждения изменяется микроструктура и твердость по сечению. Если скорость охлаждения в центре изделия превышала критическую, изделие по своему сечению приобретает мартенситную структуру и наивысшую твердость. Если же скорость охлаждения сердцевины была ниже критической, твердость к центру снижается, так как в структуре появляются продукты распада аустенита, т.е. в данном случае изделие не прокаливается насквозь.

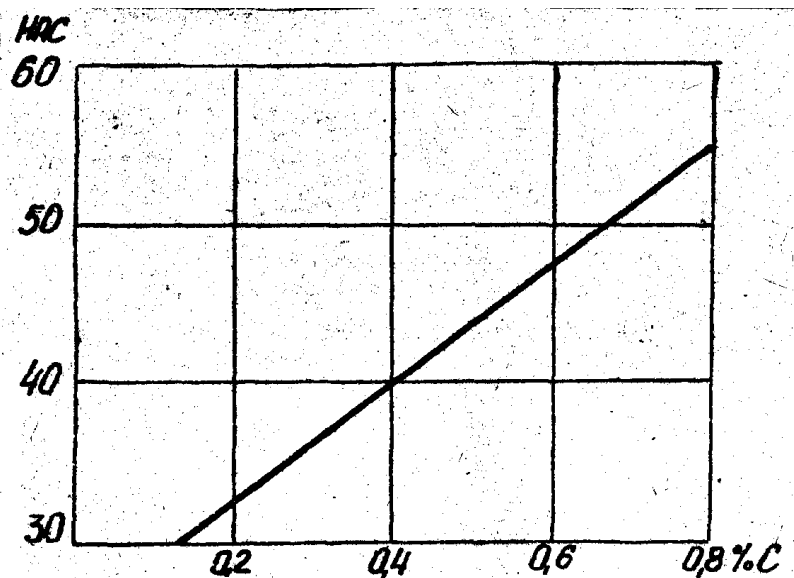


Рис. 8. 1. Изменение твёрдости полумартенситной зоны от содержания углерода в стали

Прокаливаемостью называется способность стали закаливаться на определенную глубину. За глубину прокаливания закаленной зоны принимают расстояние от поверхности до слоя со структурой состоящей из 50% троостита. Полумартенситная зона легко обнаруживается по структуре, а также по твердости, поскольку ее твердость для сталей с разным содержанием углерода известна /рис. 8.1./. Леггирующие элементы на твердость практически влияния не оказывают.

Прокаливаемость стали зависит от устойчивости переохлажденного аустенита, которая определяет критическую скорость закалки.

Прокаливаемость возрастает при увеличении в аустените содержания углерода и легирующих элементов /кроме кобальта/, укрупнении зерна, повышении однородности. Наличие в аустените нерастворенных частиц карбидов и других избыточных фаз уменьшает прокаливаемость.

Размер зерна аустенита и его однородности в большей мере зависят от температуры и длительности нагрева под закалку.

Прокаливаемость - важнейшая технологическая характеристика стали. Объясняется это тем, что при сквозной закалке с последующим высоким отпуском изделие обладает во всем сечении высоким комплексом механических свойств. У изделия с несквозной прокаливаемостью в сердцевине наблюдается снижение пределов текучести, относительного сужения и ударной вязкости.

В современном машиностроении прокаливаемость является одним из основных критериев при выборе стали для изготовления изделий; необходимо обеспечить высокие механические свойства в рабочем сечении деталей или инструмента. В зависимости от вида нагружения /растяжение, изгиб и т.д./ требования по прокаливаемости различны /сквозная, 1/2 и 1/3 радиуса/. Применение сталей с регламентированной прокаливаемостью позволяет повышать качество изделий, экономно использовать легированные стали, уменьшать вес машин, снижать их стоимость и повышать срок службы.

Объективной характеристикой прокаливаемости является критический диаметр. Это диаметр сечения, прокаливающегося насквозь в данном охладителе. Следовательно, каждой конкретной стали в каждой закалочной среде соответствует свой критический диаметр, и он тем больше, чем интенсивнее охлаждающая среда.

Метод торцевой закалки /ГОСТ 5657-69/

Этот метод определения прокаливаемости является наиболее распространенным. Его главные преимущества - простота, удобство и надежность результатов. Применяется для углеродистых и легированных конструкционных, инструментальных и подшипниковых сталей /за исключением сталей, закаливающихся не воздухе, и сталей с очень низкой прокаливаемостью/.

Образец стандартной формы для предупреждения окисления и обезуглероживания помещают в стальной цилиндрический стакан с крышкой /торцом на графитовую пластинку/ и нагревают в течение 30-50 минут до температуры закалки данной марки стали. Длительность выдержки 30 минут.

Закалка образца производится в специальной установке струей вода, которая попадает только на торцевую поверхность /рис.8.2./.

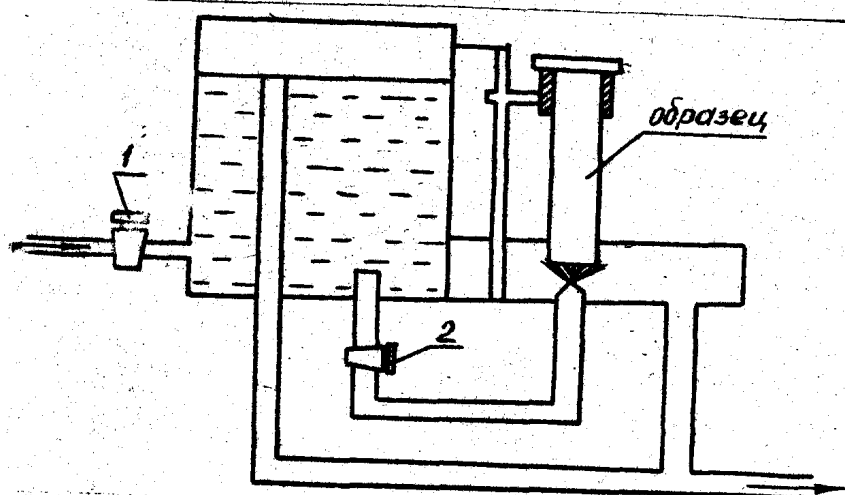


Рис. 8.2. Схема установки

Время от момента извлечения образца из печи до начала охлаждения не более 5 секунд. Условия охлаждения строго регламентируются /диаметр сопла 12,5 мм, расстояние от сопла до торца образца 12,5 мм, высота свободной струи воды - 65 мм, температура от 5 до 25°C, длительность охлаждения не менее 10 минут.

По всей длине закаленного образца сошлифовывают две диаметрально противоположные площадки на глубину 0,5 мм. На них производят измерение твердости по Роквеллу / *HRC* /, начиная от закаленного торца. Первые 16 замеров производят через 1,5 мм, а затем - через 3 мм.

Для каждой пары точек, находящихся на противоположных площадках, подсчитывают среднее арифметическое значение твердости. По полученным данным строят кривые прокаливаемости в координатах: твердость, *HRC* - расстояние от охлаждаемого торца, мм. Зная твердость полумартенситной зоны данной марки стали, которую определяют по графику изменения твердости

полумартенситной зоны в зависимости от содержания углерода в стали /см. рис. 8.1./, находят расстояние от торца до полумартенситной зоны «h».

Так например, если в нашем случае содержание углерода в легированной и углеродистой сталях равно 0,4%, то твердость полумартенситной зоны /HRC п/м/ будет равна 40 единицам.

Расстояние от торца до полумартенситной зоны для углеродистой стали – h_1 мм, для легированной стали- h_2 мм.

По найденному расстоянию от торца образца до полумартенситной зоны по номограмме прокаливаемости определяют скорость охлаждения образца и реальный критический диаметр в зависимости от формы образца и среды охлаждения.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Установка для торцевой закалки.
2. Стандартные образцы /ГОСТ 5657-69/, изготовленные из углеродистой и легированной стали с одинаковым содержанием углерода.
3. Твердомер Роквелла с приспособлением.
4. Печь муфельная МП-2У.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Произвести торцевую закалку образцов из углеродистой и легированной сталей.
2. Замерить твердость по длине образца и записать в таблицу.
3. По данным таблицы построить график изменение твердости в зависимости от расстояния закаливаемого торца образца.
4. Зная содержание углерода в стали, определить твердость полумартенситной зоны /рис. 8.1/. По твердости полумартенситной зоны определить расстояние от торца образца, до полумартенситной зоны для углеродистой и легированной сталей.
5. По номограмме прокаливаемости определить скорость охлаждения в воде и в масле.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Что называется прокаливаемостью и почему она часто бывает несквозной?
2. Почему за глубину прокаливаемости принимают расстояние до полумартенситной зоны?
3. Какая смена структур от поверхности к центру наблюдается при несквозной прокаливаемости изделий?
4. Как влияет на прокаливаемость содержание углерода?
5. Почему снижается прокаливаемость заэвтектоидных сталей при закалке от обычных температур? / $A_{c1} + 30^\circ C$ /.
6. Каково влияние легирующих элементов на прокаливаемость и чем оно объясняется?
7. Зависит ли прокаливаемость от температуры нагрева под закалку к длительности выдержки?

8. Почему при различных видах нагрузки изделий требуется разная прокаливаемость стали?
9. Какое значение имеет выбор стали с надлежащей прокаливаемостью и почему?
10. Что такое критический диаметр и от чего он зависит?
11. Что называется идеальным критическим диаметром и для чего введено это понятие?
12. Объясните сущность метода торцевой закалки.
13. Какое практическое значение имеют данные, получаемые при торцевой закалке.
14. Прокаливаемость стали, определенная методом торцевой закалки составляет 18 мм. Найдите критический диаметр при закалке в воде и в масле.

6. ПОЯСНЕНИЯ К ЛЕКЦИОННОМУ КУРСУ для студентов специальности 220301

Из раздела «Материаловедение» студентам предлагаются лекции: 1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 21, 22.

Из раздела «Технология конструкционных материалов» лекции: 1, 2. Лекции номер 3 и 4 (литейное производство) читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 2 часа. Лекции номер 5, 6 и 7 (сварочное производство) также читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 4 часа.

для студентов специальности 280101

Из раздела «Материаловедение» студентам предлагаются лекции: 1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 21, 22.

Из раздела «Технология конструкционных материалов» лекции: 1, 2. Лекции номер 3 и 4 (литейное производство) читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 2 часа. Лекции номер 5, 6 и 7 (сварочное производство) также читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 4 часа.

для студентов специальности 010701

Из раздела «Материаловедение» студентам предлагаются лекции номер: 1 – 22.

Из раздела «Технология конструкционных материалов» лекции: 1, 2. Лекции номер 3 и 4 (литейное производство) читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 2 часа. Лекции номер 5, 6 и 7 (сварочное производство) также читаются в сокращенном варианте и рассчитаны на 4 часа.

7. СПИСОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
для студентов специальности 220301

1. Изготовление микрошлифа – 2 часа
2. Металлографический анализ. Изучение процесса кристаллизации – 2 часа
3. Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов – 2 часа
4. Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии – 2 часа
5. Изучение микроструктур чугунов – 2 часа
6. Закалка сталей в различных средах – 2 часа
7. Влияние холодной пластической деформации и температуры рекристаллизации на структуру и свойства малоуглеродистой стали – 2 часа
8. Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей – 2 часа
9. Изучение микроструктур цветных сплавов – 2 часа

для студентов специальностей 280101, 010701

1. Изучение устройства металлографического микроскопа – 2 часа.
2. Изготовление микрошлифов – 2 часа.
3. Процесс кристаллизации – 2 часа.
4. Определение твердости металлов и сплавов – 2 часа.
5. Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов – 2 часа.
6. Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии – 2 часа.
7. Изучение микроструктуры чугунов – 2 часа.
8. Закалка сталей в различных средах – 2 часа.
9. Изучение неравновесных и особых микроструктур сталей – 2 часа.

8. ГРАФИК САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

для студентов специальности 220301

1. Дефекты кристаллического строения – 2 часа.
2. Индексы и плоскости Миллера – 2 часа.
3. Влияние методов получения стали на ее свойства – 2 часа.
4. Изучение особых микроструктур сталей – 2 часа.
5. Изучение структур сталей подверженных химико-термической обработке – 2 часа.
6. Термическая обработка легированных сталей – 2 часа.
7. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей с особыми свойствами – 2 часа.
8. Применение неметаллических материалов в машиностроении – 2 часа.

для студентов специальности 280101

1. Дефекты кристаллического строения – 2 часа.
2. Индексы и плоскости Миллера – 4 часа.
3. Влияние методов получения стали на ее свойства – 4 часа.
4. Изучение особых микроструктур сталей – 4 часа.
5. Изучение структур сталей подверженных химико-термической обработке – 4 часа.
6. Термическая обработка легированных сталей – 6 часа.
7. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей с особыми свойствами – 6 часа.
8. Влияние обработки металлов давлением на структуру сталей и других сплавов – 4 часа.
9. Влияние способов литья на точность изготовления – 4 часа.
10. Классификация способов сварки. Оборудование и область применения – 6 часов.

11.Классификация металлорежущих станков – 4 часа.

для студентов специальности 010701

1. Дефекты кристаллического строения – 2 часа.
2. Индексы и плоскости Миллера – 4 часа.
3. Влияние методов получения стали на ее свойства – 4 часа.
4. Изучение особых микроструктур сталей – 4 часа.
5. Изучение структур сталей подверженных химико-термической обработке – 4 часа.
6. Термическая обработка легированных сталей – 6 часа.
7. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей с особыми свойствами – 6 часа.
8. Влияние обработки металлов давлением на структуру сталей и других сплавов – 4 часа.
9. Влияние способов литья на точность изготовления – 4 часа.
- 10.Классификация металлорежущих станков – 4 часа.

9. ПРИМЕР ТЕСТОВОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ

1. От чего зависит величина зерна в процессе кристаллизации?

- 1) скорости охлаждения;
- 2) температуры нагрева;
- 3) времени выдержки в печи;
- 4) концентрации.

2. Вакансия - это...

- 1) дислокация;
- 2) поверхностный дефект кристаллического строения;
- 3) точечный дефект кристаллического строения;
- 4) объемный дефект кристаллического строения.

3. Аустенит - это...

- 1) твердый раствор углерода в решетке Fe_{α} ;
- 2) механическая смесь феррита и цементита;
- 3) химическое соединение Fe и C;
- 4) твердый раствор углерода в решетке Fe_{γ} .

5. В каком состоянии присутствует углерод в белом чугуне?

- 1) в свободном, в виде графита;
- 2) в связанном, в виде цементита;
- 3) в виде механической смеси феррита и цементита;
- 4) в виде твердого раствора углерода в железе.

6. Какую форму имеют графитовые включения в ковком чугуне?

- 1) чешуйчатую;
- 2) в виде шаровидных зерен;
- 3) хлопьевидную;
- 4) пластинчатую.

7. К какой группе сталей относится сталь Р6М5?

- 1) углеродистая инструментальная;
- 2) легированная конструкционная;
- 3) углеродистая конструкционная;
- 4) легированная инструментальная.

8. Цель диффузионного отжига?

- 1) упрочнение поверхности;
- 2) снятие закалочных напряжений;
- 3) устранение химической неоднородности;
- 4) улучшение обрабатываемости.

9. В каком случае образуется эвтектика?
- 1) когда компоненты образуют химическое соединение;
 - 2) когда компоненты неограниченно растворяются друг в друге;
 - 3) когда компоненты вообще не растворяются друг в друге;
 - 4) когда компоненты ограниченно растворяются друг в друге.
10. К каким видам примесей в железоуглеродистых сплавах относятся H, N и O₂?
- 1) случайные;
 - 2) скрытые;
 - 3) специальные;
 - 4) постоянные полезные.
11. К какому виду железоуглеродистых сплавов относится сплав с содержанием углерода 4,8% ?
- 1) доэвтектический чугун;
 - 2) эвтектоидная сталь;
 - 3) заэвтектический чугун;
 - 4) заэвтектоидная сталь.
12. Полиморфизм - это...
- 1) способность металлов сопротивляться ударным нагрузкам;
 - 2) способность металлов изменять кристаллическую решетку;
 - 3) способность сопротивляться внедрения инородного тела;
 - 4) способность сопротивляться хрупкому разрушению.
13. Какая температура является температурой нагрева под закалку для стали У8?
- 1) 100-150°C;
 - 2) 550-600°C;
 - 3) 650-680°C;
 - 4) 760-770°C;
14. К какой группе цветных сплавов относится сплав ЛАЖ60-1-1 ?
- 1) сплав на основе алюминия деформируемый;
 - 2) многокомпонентная латунь;
 - 3) сплав меди с цинком;
 - 4) сплав алюминия с магнием.
15. Твердой резиной является ...
- 1) эбонит;
 - 2) пропилен;
 - 3) второпласт;
 - 4) полиамид.
16. На какой линии диаграммы Fe-C при охлаждении происходит эвтектоидное

превращение?

- 1) PSK;
- 2) ECF;
- 3) ABCD;
- 4) GSK.

17. К какой группе стали по структуре относится Сталь 45 ?

- 1) ферритная;
- 2) феррито-перлитная;
- 3) перлитная;
- 4) перлитно-цементитная.

18. Цель закалки - ...

- 1) улучшение обрабатываемости металла;
- 2) снятие внутренних напряжений;
- 3) получение максимальных прочностных характеристик;
- 4) устранение химической неоднородности.

19. Назначить температуру отпуска для инструментальной стали У8 применяемой для изготовления молотков...

- 1) 180-200 °С;
- 2) 300-400 °С;
- 3) 500-600 °С;
- 4) 700-800 °С.

20. Процесс цементации - это...

- 1) насыщение поверхности металла углеродом;
- 2) насыщение поверхности металла одновременно углеродом и азотом;
- 3) насыщение поверхности металла алюминием;
- 4) насыщение поверхности металла кремнием.