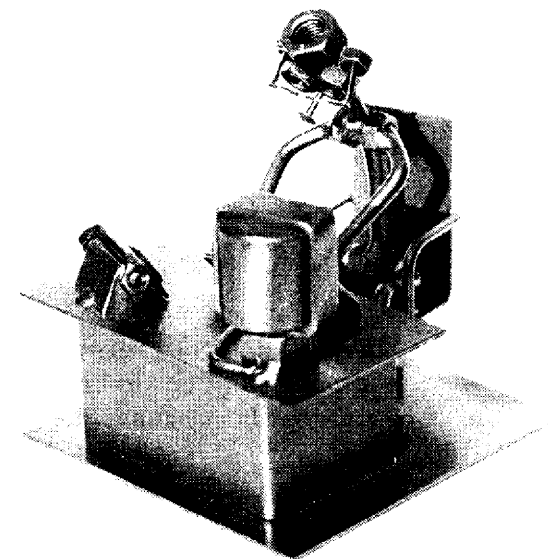


В.Б. Сажин

Иллюстрации

к началам курса "Основы материаловедения"



Москва
ТЕИС
2005

Рецензенты: ассоциация «Основные процессы и техника промышленных технологий»; кафедра химической технологии и промышленной экологии Московского государственного университета дизайна и технологии (зав. каф. профессор А.А. Захарова), кафедра процессов и аппаратов химической технологии Московского государственного университета инженерной экологии (зав. каф. проф. Д.А. Баранов)

Сажин В.Б. Иллюстрации к началам курса «Основы материаловедения»: Учебное пособие для химико-технологических вузов по курсу «Основы материаловедения».
М.: ТЕИС, 2005.-156 с.: ил.

ISBN 5-7218-0238-3

В учебном пособии проиллюстрированы основные разделы учебного курса «Основы материаловедения», который в течение целого ряда лет читается в Российском химико-технологическом университете имени Д.И. Менделеева.

Учебное пособие предназначено для студентов химико-технологических вузов, полезно при изучении курсов «Общая химическая технология» и «Процессы и аппараты химической технологии».

© Сажин В.Б. 2005

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Введение</i>	4
<i>Раздел 1. Рекомендации по организации учебного процесса</i>	5
Вопросы к коллоквиумам	5
Примеры билетов контрольных работ; примеры теоретических вопросов к контрольным работам	8
Вопросы для подготовки к экзамену	10
Рекомендуемая учебная литература	11
Положение о рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов	12
<i>Раздел 2. Иллюстрации и пояснения к изучению курса «Основы материаловедения»</i>	15
<i>Глава 1. Научное материаловедение. Объекты и методы исследования</i>	15
Металлы и сплавы	16
Методы изучения строения металлов	16
<i>Глава 2. Подбор конструкционных материалов</i>	18
Свойства конструкционных материалов:	18
- механические свойства	19
- технологические и эксплуатационные свойства	25
- физические и химические свойства	28
Коррозия конструкционных металлических материалов	30
факторы, влияющие на развитие коррозионного процесса:	31
- факторы технологические (эксплуатационные)	32
- факторы конструктивные	33
методы защиты от коррозии металлов в условиях химического производства:	34
- рациональное конструирование	34
- подбор коррозионно-стойких металлических материалов	35
- неметаллические конструкционные материалы	43
- подбор сталей и сплавов для химического оборудования	48
Промышленные потери от коррозии	57
<i>Глава 3. Строение и свойства твердых тел</i>	62
Идеальные кристаллы:	62
типы кристаллических решеток	62
Реальные кристаллы:	66
основы процесса кристаллизации	67
строение и получение металлического слитка:	74
- строение металлического слитка	74
- получение слитка в металлических изложницах и устройствах непрерывной разливки стали	74
биметаллические сплавы:	75
- диаграммы состояния сплавов	79
- диаграммы «состав-свойства»	81
<i>Глава 4. Сплавы и цветные металлы</i>	101
сплавы на основе железа:	101
- чугуны	102
- стали	102
Основные данные металлургического комплекса	103
Стали:	107
- классификация сталей	107
- легированные стали	107
- влияние углерода и постоянных примесей	107
- легирующие добавки стали	108
- конструкционные стали	109
- инструментальные стали	109
Термическая обработка стали	110
Цветные металлы и сплавы на их основе (алюминий, магний, медь, титан, никель)	123
Тугоплавкие металлы	128
Порошковые конструкционные материалы	128
Металлургический комплекс и окружающая среда	129
<i>Глава 5. Неметаллические материалы</i>	130
Пластические массы	134
Резины и резинотехнические материалы	141
Клеи и клеевые соединения	143
Лакокрасочные материалы	144
Прокладочные, уплотнительные и изоляционные материалы	145
Древесные конструкционные материалы	147
Графито-углеродные материалы	147
Композиционные материалы	148
<i>Литература</i>	154

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие не претендует на особый статус, есть учебники и пособия, в которых гораздо полнее и корректнее изложены начала курса «Основы материаловедения». Однако, доступных учебников и пособий для вузов химико-технологического профиля мало. Вместе с тем, воспринимать настоящие «Иллюстрации» как шпаргалку для быстрого освоения курса нельзя. Это – просто, так называемые, «раздаточные материалы», назначение которых – служить настольным подспорьем для лектора и студентов, слушающих курс лекций. Это пособие позволит снизить затраты времени на выполнение графиков и рисунков, сделать лекционные занятия более насыщенными и эффективными.

Из многолетнего опыта организации учебного процесса по изучению курса «Основы материаловедения» в Российском химико-технологическом университете им Д.И. Менделеева предлагаются некоторые рекомендации, позволяющие структурировать учебный процесс, заранее оговаривая правила прохождения «контрольных точек». Вместе с тем, весьма полезно не только для студентов, но и преподавателей учитывать взаимные права и обязанности в рамках регламентированных правил, установленных в вузе. Именно для этого в настоящем пособии приведено «ПОЛОЖЕНИЕ о рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Методическую помощь в подготовке материала оказали студенты и сотрудники Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева: Хашба Е.В., Филиппатина О.А., Ольховикова Е.Е., Чепайкина А.В., Тявина М.О., Аллямова Н.Б., Андреева О.Ю., Диченко М.Ю., Кузнецов М.А., Скрипко Ю.А., Степанов А.В., Суслов А.Ю., Шавкута Е.Б., проф. Г.М. Семенов, доц. А.П. Жуков, проф. А.С. Федосеев, проф. Каграманов Г.Г., проф. В.С. Бесков.

Отзывы и пожелания можно направлять по адресу: Москва, 125047, Миусская площадь, д. 9, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, кафедра общей химической технологии.

РАЗДЕЛ I. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Для студентов учебных специальностей, предусматривающих изучение курса «Основы материаловедения» без проведения семинаров, проводятся *коллоквиумы*.

В этом случае максимальный рейтинговый балл за семестр (максимум 100 баллов) складывается из рейтинговых баллов, набранных студентами на 3-х коллоквиумах (по 20 максимальных баллов каждый), проводимых в письменной форме, и письменного экзамена (максимум 40 баллов).

Для студентов учебных специальностей, предусматривающих изучение курса «Основы материаловедения» с проведением семинаров, предусмотрены курсовая работа в форме учебно-исследовательской работы студентов (максимальная оценка 22 балла), 2 контрольных работы (20 + 8 баллов), премия преподавателя, стимулирующая посещение и активность на семинарах (10 баллов).

При суммарном балле за 1 и 2 коллоквиумы 35 баллов и выше, 3 коллоквиум может проводиться по схеме «30+30»: вместо билетов коллоквиума №3 выдаются *экзаменационные задания*, включающие 3 вопроса по темам коллоквиумов, причем, вопросы №№1 и 2 оцениваются по 15 баллов каждый, вопрос №3 – в 30 баллов и выставляется итоговый балл без экзамена. Экзамен по курсу проводится в письменной форме и оценивается в 40 баллов (максимально). Максимальный рейтинговый балл за семестр – 100 баллов.

Коллоквиумы (контрольные работы) не передаются на повышенную оценку. Студенты, не явившиеся на проведение коллоквиума (контрольной работы) или экзамена, получают за него "0" баллов, за исключением пропустивших по уважительной причине. Уважительной причиной пропуска является болезнь, подтвержденная справкой медицинского учреждения установленного образца. В таком случае медицинская справка предъявляется в течение недели после выписки и определяется дата индивидуального проведения коллоквиума (контрольной работы) или экзамена.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМАМ

Коллоквиум № 1:

Материаловедение как наука. Цели, объекты, методы исследования. Свойства конструкционных материалов. Механические, физические, химические и технологические свойства. Методы их определения. Алгоритм подбора конструкционных материалов. Строение и свойства фаз в сплавах. Твердые растворы. Диаграммы состояния. Примеры. Геометрические спосо-

бы построения диаграмм состояния. Диаграммы "состав-свойство" (диаграммы Курнакова-Жемчужного). Самопроизвольная кристаллизация металлов. Зарождение и рост кристаллов. Основы процесса кристаллизации. Формы кристаллов. Дендритная схема роста кристаллов. Основные типы идеальных кристаллических структур. Строение и свойства реальных кристаллов. Точечные, линейные и поверхностные дефекты реальной кристаллической структуры. Основные методы определения микро- и макроструктуры материалов. Аллотропические (полиморфные) превращения железа. Строение и свойства реальных кристаллов. Точечные, линейные, и поверхностные дефекты кристаллической структуры. Применение дислокационной теории для объяснения прочностных свойств металлов. Основные методы разливки стали. Сравнительная характеристика. Разливка стали в изложницах. Строение и дефекты слитков. Способ и устройство непрерывной разливки стали. Преимущества по сравнению с разливкой стали в изложницах. Основные структуры железоуглеродных сплавов. Диаграмма состояния системы Fe – Fe₃C. Термическая обработка стали. Отжиг. Закалка. Отпуск. Нормализация. Химико-термическая обработка стали. Цементация. Азотирование. Нитроцементация. Цианирование. Алитирование. Силицирование. Борирование. Хромирование.

Коллоквиум № 2:

Стали. Классификация. Влияние примесей. Углеродистые стали. Классификация. Маркировка. Применение. Легированные стали. Классификация. Маркировка. Применение. Легированные стали. Влияние легирующих добавок. Инструментальные стали. Классификация. Маркировка. Применение. Стали специального назначения с особыми свойствами. Применение. Серые чугуны. Классификация. Примеси. Белые чугуны. Применение. Коррозионностойкие чугуны. Маркировка. Применение. Медь и ее сплавы. Свойства. Маркировка. Применение. Никель и его сплавы. Свойства. Маркировка. Применение. Титан и его сплавы. Свойства. Маркировка. Применение. Магний и его сплавы. Свойства. Маркировка. Применение. Алюминий и его сплавы. Свойства. Маркировка. Применение. Тугоплавкие металлы. Свойства. Применение. Антифрикционные материалы. Свойства. Применение.

Коллоквиум № 3:

Неметаллические конструкционные материалы. Общая характеристика и области применения неметаллических материалов. Неметаллические неорганические материалы. Классификация и общая характеристика неметаллических неорганических материалов. Ситаллы. Неорганические стекла. Состав. Структура. Свойства. Области применения. Техническая керамика и огнеупоры. Структура. Свойства. Области применения. Перспективные направления развития керамических материалов. Вяжущие мате-

риалы. Виды. Свойства. Области применения. Материалы на основе высокомолекулярных соединений. Классификация высокомолекулярных соединений. Особенности молекулярной структуры полимеров и их свойства. Пластмассы, их классификация. Основные виды пластмасс, их свойства и области применения. Резинотехнические материалы. Состав. Свойства. Получение. Применение. Лакокрасочные материалы. Состав. Свойства. Получение. Применение. Клеи и герметики. Состав. Свойства. Получение. Применение. Композиционные материалы. Основные представления о композиционных материалах. Типы композиционных материалов: на основе полимерной матрицы; на основе металлической матрицы; на основе керамической матрицы; углерод-углеродные композиционные материалы. Основные характеристики и области применения композиционных материалов.

ПРИМЕРЫ БИЛЕТОВ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

(18 вариантов, 10 вопросов, по 2 балла за каждый вопрос)

Контрольная работа №1:

Федеральное агентство по образованию

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.

Кафедра общей химической технологии. «Основы материаловедения»:

Контрольная работа №1.

Вариант №1

1. Дать классификацию: Стали по получению
2. Привести фрагмент диаграммы состояния железо-цементит, соответствующий интервалу концентраций $C_1 - C_2$ (см. табл. заданий)
3. По диаграмме состояния железо-цементит описать процесс охлаждения расплава с концентрацией по углероду a , % (масс.) в интервале температур от T_1 до T_2 (см. табл. заданий)
4. По диаграмме состояния железо-цементит определить составы фаз для фигуративной точки с концентрацией по углероду b , % (масс.) при температуре T_B (см. табл. заданий)
5. По диаграмме состояния железо-цементит определить состав шихты с температурой начала плавления $T_{пл}$, град С (см. табл. заданий)
6. По диаграмме состояния железо-цементит определить температуру начала плавления шихты железо-углерод с содержанием по углероду d , % (масс.) (см. табл. заданий)
7. По диаграмме состояния железо-цементит определить температуру начала кристаллизации расплава железо-углерод с содержанием по углероду f , % (масс.) (см. табл. заданий)
8. По диаграмме состояния железо-цементит парами значений «концентрация углерода - температура» дать точки, ограничивающие область существования следующей структуры (см. табл. заданий)

9. Дать подробное описание структуры (см. табл. заданий)
 10. Показать на диаграмме состояния железо-цементит температурный режим вида термообработки: Диффузионный отжиг

Таблица заданий

№2		№3			№4		№5	№6	№7	№8	№9
С 1, %	С 2, %	а, % (масс.)	Т 1, град С	Т 2, град С	в, % (масс.)	Т, град С	Т пл, град С	д, % (масс.)	е, % (масс.)	Структура	Структура
0,5	0,8	0,1	1450	727	0,1	700	1500	2,1	0,3	Ц ₁	α-Fe

Контрольная работа №2:

Федеральное агентство по образованию

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.

Кафедра общей химической технологии. «Основы материаловедения»:

Контрольная работа №2.

Вариант №1

1. Дайте описание вида химико-технологической обработки: Цементация с твердым карбюризатором
2. Дайте описание: Примеси стали
3. Опишите: Алюминий и его литейные свойства
4. Приведите соответствующие диаграммы и прокомментируйте: Системы с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии 1 типа

ПРИМЕРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Контрольная работа №1:

Вопрос №1. Дать классификацию:

Стали по получению. Стали по химическому составу. Стали по назначению. Стали отожженные (по структуре). Стали нормализованные (по структуре). Чугуны по получению. Чугуны по назначению. Легированные стали по числу легирующих добавок. Легированные стали по количеству легирующих

добавок. Легированные стали по применению. Углеродистые стали обычного качества. Углеродистые стали качественные.

Вопрос №9. Дать подробное описание структуры:

α-Fe; β-Fe; γ-Fe; δ-Fe; А (аустенит); Ф (феррит); Ц (цементит); П (перлит); М (мартенсит); Т (троостит); С (сорбит)

Вопрос №10. Показать на диаграмме состояния железо-цементит температурный режим вида термообработки:

Диффузионный отжиг. Рекристаллизационный отжиг. Полный отжиг. Неполный отжиг. Нормализационный отжиг. Закалка. Низкий отпуск. Средний отпуск. Высокий отпуск.

Контрольная работа №2:

Вопрос №1. Дайте описание вида химико-технологической обработки:

Цементация с твердым карбюризатором. Цементация с газообразным карбюризатором. Азотирование газовое. Азотирование в тлеющем разряде. Нитроцементация. Цианирование. Диффузионное легирование. Алитирование.

Вопрос №2. Дайте описание:

Примеси стали. Легирующие элементы 1 класса в стали. Легирующие элементы 2 класса в стали. Маркировка сталей обыкновенного качества. Маркировка качественных сталей. Маркировка инструментальных углеродистых сталей. Маркировка легированных сталей. Серый чугун: состав и влияние примесей. Серый чугун: классификация и маркировка. Высокопрочные чугуны: маркировка. Ковкие чугуны: маркировка

Вопрос №3. Опишите:

Алюминий и его литейные свойства. Алюминий и его деформируемые сплавы. Алюминий и спеченные алюминиевые порошки. Магний и его свойства. Магний: влияние легирующих добавок. Магний и его литейные сплавы. Магний и его деформируемые сплавы. Медь и ее сплавы. Медь и латуни. Медь и бронзы. Титан, его свойства и влияние примесей. Сплавы титана. Сплавы никеля. Тугоплавкие металлы и их свойства. Сплавы тугоплавких металлов. Конструкционные порошковые материалы

Вопрос №4. Приведите соответствующие диаграммы и прокомментируйте:

Системы с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии 1 типа. Системы с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии 2 типа (с максимумом). Системы с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии 3 типа (с минимумом). Системы с неограниченной растворимостью в жидком и с ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Системы с образованием химического соединения. Кривые охлаждения и диаграммы состояния для систем с простой эвтектикой. Кривые охлаждения и диаграммы состояния для систем с неограниченной растворимостью в жидком и в твердом состоянии. Кривые охлаждения и диаграммы состояния для систем с образованием химического соединения. Применение способа Таммана для определения точки эвтектики систем с ограниченной растворимостью в твердом состоянии и неограниченной – в жидком. Диаграммы «состав – свойства»: твердость и электросопротивление в системах с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии. Диаграммы «состав – свойства»: твердость и электросопротивление в системах с простой эвтектикой. Диаграммы «состав – свойства»: твердость и электросопротивление в системах с образованием химического соединения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

Материаловедение как наука. Цели, объекты, методы исследования. Аллотропические (полиморфные) превращения железа. Строение и свойства реальных кристаллов. Линейные, точечные, поверхностные дефекты кристаллической структуры. Свойства конструкционных материалов (физические, химические, технологические, механические). Алгоритм подбора конструкционных материалов. Диаграмма состояния системы Fe – Fe₃C. Фазовые структуры в системе Fe – Fe₃C. Основы процесса кристаллизации. Основные методы разливки стали. Сравнительная характеристика. Разливка стали в металлических изложницах. Строение слитка. Дефекты строения слитка. Способ и устройство непрерывной разливки стали. Преимущества по сравнению с разливкой стали в металлических изложницах. Основы кристаллизации. Формы кристаллов. Дендритная схема роста кристаллов. Строение слитков. Строение идеальных кристаллов. Основные типы идеальных кристаллических структур. Строение и свойства фаз в сплавах. Сложные фазы. Твердые растворы. Промежуточные фазы. Системы с простой эвтектикой, с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (при неограниченной растворимости в жидком), с неограниченной растворимо-

стью в жидком и твердом состоянии, с образованием химического соединения. *Диаграммы состояния. Примеры. Диаграммы состав-свойство (диаграммы Курнакова-Жемчужного). Термическая обработка стали. Отжиг, закалка, отпуск. Химико-термическая обработка стали (цементация, азотирование, нитроцементация, цианирование, диффузионное поверхностное легирование. Алитирование. Сталь. Классификация, влияние примесей. Легированные стали. Классификация, маркировка, применение, легирующие добавки 1 и 2 класса. Углеродистые стали. Классификация, маркировка, применение. Чугуны. Классификация. Примеси. Коррозионностойкие, белые, серые, модифицированные, высокопрочные чугуны. Цветные металлы. Алюминий, магний, титан, никель, медь и их сплавы. Свойства, маркировка, применение. Тугоплавкие металлы и их сплавы. Свойства, маркировка, применение. Конструкционные порошковые материалы. Получение. Свойства, маркировка, применение. Высокмолекулярные соединения. Классификация, состав, свойства, получение, применение. Неметаллические конструкционные материалы. Пластмассы, материалы силикатной технологии (стекло и ситаллы, керамика, вяжущие материалы), резиновые материалы, лакокрасочные материалы, композиционные материалы. Классификация, состав, получение, свойства, применение. Композиционные материалы. Упрочняющее действие порошковых и волокнистых наполнителей. Типы композиционных материалов на основе полимерной, металлической, керамической матриц, углерод-углеродные композиционные материалы. Основные характеристики и области применения композиционных материалов.*

РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Основы материаловедения. Под ред. И.И. СИДОРОВА. Учебник для вузов. М., Машиностроение. 1988 – 436 с.
2. Жуков А.П., Малахов А.И. Основы металловедения и теории коррозии. М., Высшая школа. 1991 – 169 с.
3. Семенов Г.М., Федосеев А.С., Сажин В.Б. Методические указания к изучению курса «Основы материаловедения»; РХТУ им. Д.И. Менделеева. М., 2002. 24 с.
4. Семенов Г.М., Федосеев А.С., Сажин В.Б. Основы материаловедения. Часть 2. Кристаллическая структура, диаграммы состояния, маркировка материалов; РХТУ им. Д.И. Менделеева. М., 2002. 20 с.
5. Материаловедение и технология металлов Под ред. Г.П. Фетисова. Учебник для вузов. М.: Высшая школа. 2001 – 638 с.
6. Жуков А.П. Основы материаловедения Часть 1. Металловедение. М. РХТУ им. Д.И. Менделеева. 1999. – 156 с.

Дополнительная:

7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М., Машиностроение. 1990- 528 с.
8. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М., Металлургия, 1981 – 360 с.
9. Колочев Б.А., Ливонов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., Металлургия. 1981 – 416 с.

ПОЛОЖЕНИЕ О РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЧЕБНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Утверждено Ученым советом РХТУ им. Д.И. Менделеева
26 марта 2003 г. (протокол N 8). Дополнения и изменения
в п. 5 внесены 26 декабря 2003 г. (протокол N 5)

ПОЛОЖЕНИЕ о рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в РХТУ им. Д.И. Менделеева

Рейтинговая система оценки качества учебной работы студентов (далее - рейтинговая система) введена в РХТУ (МХТИ) с целью активизации самостоятельной работы студентов и стимулирования ее ритмичности. Многолетнее использование рейтинговой системы при организации учебного процесса в университете подтвердило ее положительное влияние на регулярность работы студентов при освоении учебных курсов и на повышение объективности оценки качества учебной работы студентов преподавателями. Настоящая редакция Положения составлена с учетом накопленного опыта реализации рейтинговой системы.

Правила формирования рейтинговой оценки

1. Все преподаваемые в Университете учебные дисциплины по итоговой оценке знаний делятся на три категории:
 - заканчивающиеся экзаменом,
 - заканчивающиеся зачетом с оценкой («дифференцированным» зачетом),
 - заканчивающиеся зачетом.
2. Безупречное усвоение каждой изучаемой студентом в семестре учебной дисциплины, включая элективные и факультативные дисциплины, оценивается в 100 рейтинговых баллов («100% успеха»).
3. Количество промежуточных этапов контроля учебной работы студентов, их форму, сроки и максимальную оценку их в рейтинговых баллах устанавливает на своем заседании кафедра, преподающая данную учебную дисциплину. Преподаватель кафедры, ведущий занятия со студенческой группой, обязан проинформировать группу об этом решении кафедры на первом занятии в семестре.

4. Максимальная сумма рейтинговых баллов по учебной дисциплине с экзаменом или «дифференцированным» зачетом по результатам промежуточных этапов контроля в семестре составляет 60.

Для получения зачета по предмету без экзамена студент должен набрать при промежуточном контроле не менее 55 баллов. Для допуска к сдаче экзамена или «дифференцированного» зачета эта сумма должна быть не менее 35 баллов.

5. Неявка студента на промежуточный контроль в установленный срок оценивается нулевым баллом.

Дополнительные 2-3 дня для отчетности по пропущенным контрольным точкам устанавливаются заведующим соответствующей кафедрой в конце каждого месяца семестра для студентов, имеющих направление декана или его заместителя.

6. Студент, набравший в семестре сумму баллов меньше указанной в п.4 (55 или 35 соответственно), но не менее 20 баллов, может «добрать» недостающие баллы в течение последней недели семестра перед началом экзаменационной сессии. Опрос, как правило, проводится преподавателем, проводившим в семестре занятия со студентами данной учебной группы.

В исключительных случаях студент может быть допущен к «добору» баллов в период экзаменационной сессии по направлению декана или его заместителя в дни установленные заведующим соответствующей кафедрой.

В течение последней недели семестра заведующие кафедрами обязаны обеспечить работу учебных лабораторий и предоставить возможность студентам, имеющим задолженность по лабораторному практикуму, ликвидировать ее.

7. Студентам, имевшим задолженность по неуважительной причине и ликвидировавшим ее в последнюю неделю семестра, преподаватель выставляет в ведомость минимальный рейтинговый балл (55 или 35 соответственно).

Если ответ студента во время «добра» баллов не отвечает установленным требованиям, никакие дополнительные баллы ему не выставляются и оценка не изменяется.

8. Студент, набравший в семестре менее 35 баллов по любой изучаемой в семестре учебной дисциплине, может быть не допущен к экзаменам и отчислен из университета за академическую неуспеваемость.

9. Ответ студента на экзамене или «дифференцированном» зачете оценивается суммой от 20 до 40 рейтинговых баллов.

Оценка 19 баллов и менее считается неудовлетворительной, студенту за экзамен выставляется нулевая оценка и общая оценка «неудовлетворительно». Пересдача экзаменов на повышенную оценку во время экзаменационных сессий в университете не разрешается.

10. Пересдача экзаменов студентами, получившими неудовлетворительные оценки, организуется в последние три дня экзаменационной сессии, а также в течение двух дополнительных («хвостовых») сессий, сроки проведения которых устанавливает проректор по учебной работе своим распоряжением. Кафедры допускают студентов к таким экзаменам только по направлению декана факультета или его заместителя.

11. Студент, по неуважительным причинам не ликвидировавший задолженность по зимней сессии до начала следующей весенней сессии, к экзаменам не допускается и подлежит отчислению.

Студент, по неуважительным причинам не ликвидировавший задолженность по весенней сессии до начала нового учебного года, к занятиям не допускается и отчисляется из университета.

12. Для студентов, показавших в течение семестра высокие результаты в изучении учебной дисциплины, устанавливаются поощрения. Студент, набравший по курсу с экзаменом или «дифференцированным» зачетом на промежуточных этапах сумму от 55 до 60 баллов, имеет право получить итоговую оценку без дополнительного опроса. При этом студент, набравший 55-57 баллов, получает 10 премиальных баллов и итоговую оценку «удовлетворительно», а набравший 58-60 баллов - 20 премиальных баллов и итоговую оценку «хорошо». О своем желании получить премиальные баллы студент должен объявить ведущему преподавателю до начала экзаменационной сессии. В этом случае преподаватель выставляет в ведомость и зачетную книжку студента полученную с учетом премиальных баллов оценку. Оценка «отлично» студент может получить только на экзамене. Если студент сдает экзамен во время экзаменационной сессии, премиальные баллы не начисляются.

13. В университете по каждой дисциплине используется единая ведомость для выставления нарастающей суммы рейтинговых баллов по трем контрольным неделям и экзамену («дифференцированному» зачету).

14. В университете действует следующая шкала пересчета рейтинговых баллов в «обычные» оценки:

от 55 до 69 - «удовлетворительно» (3)

от 70 до 84 - «хорошо» (4)

от 85 до 100 - «отлично» (5)

В ведомость и зачетную книжку студента итоговая оценка проставляется в рейтинговых баллах и в виде «обычной» оценки.

Для учебных дисциплин, изучаемых в нескольких семестрах, итоговая оценка определяется по набранной за весь срок изучения дисциплины сумме рейтинговых баллов, деленной на число семестров. Эта оценка вносится в приложение к диплому.

15. По результатам экзаменационной сессии деканат рассчитывает рейтинг каждого студента. Для этого рейтинговые баллы, набранные студентам по каждой учебной дисциплине, умножаются на трудоемкость дисциплины, принимаемую равной 0,1 от суммарного числа часов, отводимых учебным планом на изучение этой дисциплины в неделю. Полученные произведения суммируются, образуя суммарную рейтинговую оценку студента в семестре, на основании которой составляется рейтинговый лист.

Рейтинговый лист используется при назначении стипендии в соответствии с действующим в университете Положением, при переводе на следующий уровень образования и в других случаях.

Суммарная рейтинговая оценка за весь срок обучения (в % от максимально возможной) и место студента в рейтинговом листе выпускного курса сообщается ГАК при защите квалификационной работы, а также потенциальным работодателям по просьбе последних.

16. Настоящее Положение обязательно для исполнения всеми преподавателями и студентами университета.

(Проект Положения подготовили Е.П. Моргунова и В.Ф. Жилин)

РАЗДЕЛ II. ИЛЛЮСТРАЦИИ И ПОЯСНЕНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА «ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ»

ГЛАВА 1. НАУЧНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В XVIII веке металлург П. П. Аносов установил связь между строением стали и ее свойствами. В XIX веке Д. К. Чернов заложил положения научного материаловедения в России. В XX веке Н. С. Курнаков предложил использовать методы физико-химического анализа для изучения металлов и сплавов. В начале 20-х гг. стал применяться рентгеновский метод для определения строения металлических фаз (Вульф, Лауэ, Дебай и др.). В 20-30-х годах получила активное развитие теория фазовых превращений в сплавах. Значительную роль в развитии материаловедения сыграли работы Д. И. Менделеева, К. Сорби, У. Робертса-Остена, Ф. Осмонда, Г. Таммана, А. А. Байкова, А. М. Бочвара, С.Т. Кишкина, В.Д. Садовского, А.П. Гуляева, С.С. Штейнберга, Н.А. Минкевича и др.

Материаловедение – наука, изучающая взаимосвязь между составом, строением и свойствами материалов.

Изучаются разделы: материаловедение и термическая обработка металлов и неметаллические материалы (полимеры, резины, силикатные материалы, композиты, лаки и краски и др.)

Металловедение - наука, изучающая строение, свойства металлов и сплавов и закономерности их изменения в зависимости от теплового, химического, механического, электромагнитного и радиоактивного воздействия. Металловедение базируется на химии, физике, кристаллографии, оказывая большое влияние на развитие инженерных дисциплин.

Металловедение условно можно подразделить на теоретическое и практическое. Теоретическое материаловедение изучает природу металлов и сплавов, законы, по которым изменяются свойства и строение сплавов в зависимости от состава, а также от теплового, химического или механического воздействий.

Практическое материаловедение даёт возможность выбирать металлы или сплавы для определённых целей, основываясь на их физических, химических, механических и технологических свойствах.

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Металлы и сплавы – твердые кристаллические вещества, характерной особенностью которых является правильное периодическое строение, расположение атомов в пространстве

Сплав – многокомпонентная металлическая система.

Металлы и сплавы:

- черные
- цветные

Черные металлы:

железо и сплавы на его основе (стали и чугуны)

Цветные металлы:

- легкие
- легкоплавкие
- тугоплавкие
- благородные
- урановые
- редкоземельные
- лантаноиды
- щелочноземельные

Классификация по способам получения:

- порошковые
- застывшие расплавы
- электролиз
- высокотемпературная диффузия
- кристаллизация из газов под вакуумом

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

- макроанализ
- микроанализ
- рентгеновский
- магнитный

- ультразвуковой

Изучение строения металлов и сплавов производится методами макро- и микроанализа, рентгеновского, а также дефектоскопии (рентгеновской, магнитной, ультразвуковой).

Макроанализ изучает макроструктуру, т.е. структуру, видимую невооруженным глазом или с помощью лупы, при этом выявляются крупные дефекты: трещины, усадочные раковины, газовые пузыри и т. д., а также неравномерность распределения примесей в металле. Макроструктуру определяют по изломам металла, по макрошлифам. Макрошлиф – образец металла или сплава, одна из сторон которого отшлифована, тщательно обезжирена, протравлена и рассматривается с помощью лупы с увеличением в 5-10х.

Микроанализ выявляет структуру металла или сплава по микрошлифам, приготовленным так же, как и для макроанализа, но дополнительно отполированным до зеркального блеска. Шлифы рассматриваются в отраженном свете под оптическим микроскопом при увеличении до 3000х. Из-за различной ориентации зерен металла они травятся в различной степени, и под микроскопом свет также отражается по-разному. Границы зерен, благодаря примесям, травятся сильнее, чем основной металл, и выявляются более рельефно. В сплаве структурные составляющие травятся также различно. В *электронном микроскопе* рассматривают реплику – слепок с особо тонкой структуры металла при увеличениях до 100 000х. Определяют размеры и форму зерен, структурные составляющие, неметаллические включения и их характер — трещины, пористость и т. д., качество термической обработки.

Знание микроструктуры позволяет объяснить причины изменения свойств металла.

Рентгеновский анализ позволяет изучать атомную структуру металлов, типы и параметры кристаллических решеток, а также дефекты, лежащие в глубине. Этот анализ, основанный на дифракции рентгеновских лучей рядами атомов кристаллической решетки, позволяет, не разрушая металла, обнаружить дефекты: пористость, трещины, газовые пузыри, шлаковые включения и т. д. В местах дефектов рентгеновские лучи поглощаются в меньшей степени, чем в сплошном металле, и поэтому на фотопленке такие лучи образуют темные пятна, соответствующие форме дефекта.

Гамма-лучи, проникающие в изделие на большую глубину, чем рентгеновские, применяют для исследования структуры металла и дефектов изделий.

Магнитный метод применяют для исследования дефектов в магнитных металлах (сталь, никель и др.) на глубине до 2 мм (трещины различного происхождения, неметаллические включения и т.д.). Для этого испытуемое изделие намагничивают, покрывают его поверхность порошком железа; осматривают его поверхность и размагничивают изделие. Вокруг дефекта образуется неоднородное поле, вследствие чего магнитный порошок повторяет очертания дефекта. *Метод магнитной индукции* используют для оценки

полноты структурных превращений в сплавах (изделиях) после их термической обработки.

Ультразвуковой метод позволяет осуществлять эффективный контроль качества металла изделий и заготовок практически любых размеров. В импульсных ультразвуковых дефектоскопах ультразвуковая волна от щупа-излучателя распространяется в тестируемом изделии и при встрече с каким-либо дефектом отражается от него. Отраженные волны принимаются, усиливаются и передаются на показывающий индикатор. Ультразвук используют для контроля качества роторов, рельсов, поковок, проката и других изделий при необходимости сохранения целостности изделий.

ГЛАВА 2. ПОДБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основные принципы подбора:

- доступность,
- надежность и долговечность,
- экономическая целесообразность

Порядок подбора конструкционных материалов:

- природа (металл, неметалл)
- химический состав и строение
- термодинамические характеристики
- химические и физические свойства
- механические свойства
- технологические свойства
- свойства рабочей среды
- экономическая целесообразность

СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- механические
- физические
- химические
- технологические

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

- прочность
- упругость
- пластичность
- усталость
- выносливость
- твердость
- ударная вязкость

Способность металла сопротивляться воздействию внешних сил характеризуется механическими свойствами. Поэтому при выборе материала для изготовления деталей машин и аппаратов необходимо, прежде всего, учитывать его механические свойства: прочность, упругость, пластичность, ударную вязкость, твердость и выносливость. Эти свойства определяют по результатам механических испытаний, при которых металлы подвергают воздействию внешних сил (нагрузок). Внешние силы могут быть статическими, динамическими или циклическими (повторно-переменными). Нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию.

Напряжение— величина нагрузки, отнесенная к единице площади поперечного сечения испытываемого образца.

Деформация — изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил. Различают деформации растяжения (сжатия), изгиба, кручения, среза (рис. 1). В действительности материал может подвергаться одному или нескольким видам деформации одновременно.

Для определения прочности, упругости и пластичности металлы в виде образцов круглой или плоской формы испытывают на статическое растяжение. Испытания проводят на разрывных машинах.

Прочность—способность материала сопротивляться разрушению под действием нагрузок. Оценивается пределом прочности и пределом текучести. Важным показателем прочности материала является также удельная прочность — отношение предела прочности материала к его плотности.

Предел прочности (временное сопротивление) — условное напряжение (в МПа), соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца. Истинное сопротивление разрыву — напряжение, определяемое отношением нагрузки к момент разрыва к площади минимального поперечного сечения образца после разрыва.

Предел текучести (физический) - наименьшее напряжение (в МПа), при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки.

Упругость — способность материала восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия нагрузки. Оценивают пределом пропорциональности и пределом упругости.

Предел пропорциональности - напряжение (МПа), выше которого нарушается пропорциональность между прилагаемым напряжением и деформацией образца.

Предел упругости (условный) - это условное напряжение (в МПа), соответствующее нагрузке, при которой остаточная деформация впервые достигает 0,05% от расчетной длины образца.

Пластичность — способность материала принимать новую форму и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь при этом. Характеризуется относительным удлинением и относительным сужением.

Относительное удлинение (после разрыва) — отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине, выраженное в процентах.

Относительное сужение (после разрыва) - отношение разности начальной и минимальной площадей поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах. Чем больше значения относительного удлинения и сужения для материала, тем он более пластичен. У хрупких материалов эти значения близки к нулю. Хрупкость конструкционного материала является отрицательным свойством.

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

Выносливость — свойство материала противостоять усталости. Предел выносливости - это максимальное напряжение, которое может выдерживать металл без разрушения в течении заданного числа циклов нагружения.

Твердость - способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. Высокой твердостью должны обладать металлорежущие инструменты: резцы, сверла, фрезы, а также поверхностно-

упрочненные детали. Твердость металла определяют по способам Бринелля, Роквелла и Виккерса (рис. 3-5).

Способ Бринелля. В плоскую поверхность металла вдавливают под постоянной нагрузкой стальной закаленный шарик. Диаметр шарика и величину нагрузки устанавливают в зависимости от твердости и толщины испытываемого металла. Твердость по Бринеллю определяют на твердомере «ТШ» (твёрдомер шариковый). На поверхности образца (твердость которого нужно измерить) напильником или абразивным кругом зачищают площадку размером 3—5 см². Образец ставят на столик прибора и поднимают до соприкосновения со стальным шариком, который укреплен в шпинделе прибора. Груз опускается и вдавливает шарик в испытываемый образец. На поверхности металла образуется отпечаток. Чем больше отпечаток, тем металл мягче. За меру твердости НВ принимают отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка диаметром d и глубиной t , который образуется при вдавливании силой P шарика диаметра D (см. рис. 3, а). Числовое значение твердости определяют измерением диаметра отпечатка с помощью оптической лупы (с делениями) и по полученному значению находят в таблице соответствующее число твердости. Преимущество способа Бринелля заключается в простоте испытания и точности получаемых результатов. Способом Бринелля не рекомендуется измерять твердость материалов с $HV > 450$, например, закаленной стали, так как при измерении шарик деформируется и показания искажаются.

Способ Роквелла. В образец вдавливают алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм. Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах. Условная величина единицы твердости соответствует осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Испытание проводят на приборе «ТК». Значение твердости определяют по глубине отпечатка h и отсчитывают по циферблату индикатора, установленному на приборе. Во всех случаях предварительная нагрузка P_0 равна 100 Н.

При испытании металлов с высокой твердостью при меняют алмазный конус и общую нагрузку $P = P_0 + P_1 = 1500$ Н. Твердость отсчитывают по шкале "С" и обозначают «HRC». Если при испытании берется стальной шарик и общая нагрузка 1000 Н, то твердость отсчитывается по шкале "В" и обозначается «HRB». При испытании очень твердых или тонких изделий используют алмазный конус и общую нагрузку 600 Н. Твердость отсчитывается по шкале "А" и обозначается «HRA». Пример обозначения твердости по Роквеллу: «HRC 50» - твердость 50 по шкале "С".

Способ Виккерса. В качестве вдавливаемого в материал наконечника используют четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°. При испытаниях применяют нагрузки от 50 до 1000 Н (меньшие значения

нагрузки для определения твердости тонких изделий и твердых, упрочненных поверхностных слоев металлах. Для определения численного значения замеряют длины обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки и с помощью микроскопа и по полученному среднему арифметическому значению длины диагонали находят в таблице соответствующее число твердости. Пример обозначения твердости по Виккерсу — «HV 500».

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

Ударная вязкость — это способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам. Определяется как отношение затраченной на излом образца работы (в МДж) к площади его поперечного сечения (в м^2) в месте надреза. Для испытания изготавливают специальные стандартные образцы, имеющие форму квадратных брусков с надрезом. Испытывают образец на маятниковых копрах (рис. 6). Свободно падающий маятник копра ударяет по образцу со стороны, противоположной надрезу. При этом фиксируется работа, затраченная на излом. Динамические испытания на ударный изгиб выявляют склонность металла к хрупкому разрушению. Метод основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра. Ударная вязкость a_n , кгс \cdot м/см 2 , определяется работой A_n , необходимой для излома образца, отнесенной к рабочей площади поперечного сечения P . Образец устанавливают на двух опорах, затем наносят удар по его середине (рис. 6, а, б) со стороны, противоположной надрезу.

Определение ударной вязкости особенно важно для некоторых металлов, работающих, при минусовых температурах и проявляющих склонность к хладноломкости. Чем ниже порог хладноломкости, т. е. температура, при которой вязкое разрушение материала переходит в хрупкое, и чем больше запас вязкости материала, тем больше ударная вязкость материала. Хладноломкость — снижение ударной вязкости материалов при низких температурах.

Циклическая вязкость — способность материалов поглощать энергию при повторно-переменных нагрузках. Материалы с высокой циклической вязкостью быстро гасят вибрации, которые часто являются причиной преждевременного разрушения. Например, чугун, имеющий высокую циклическую вязкость, в ряде случаев (для изготовления станин и других корпусных деталей) предпочтительнее, чем углеродистая сталь.

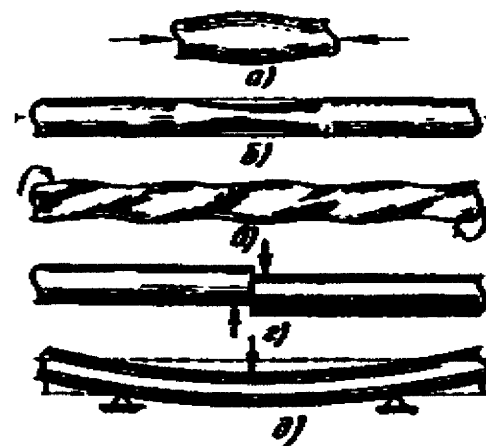


Рис. 1 Виды деформаций: а — сжатие, б — растяжение, в — кручение, г — изгиб

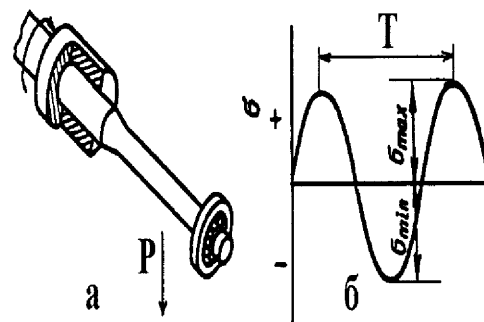


Рис. 2. Схема испытания на усталость (а) и диаграмма циклического изменения напряжений (б)

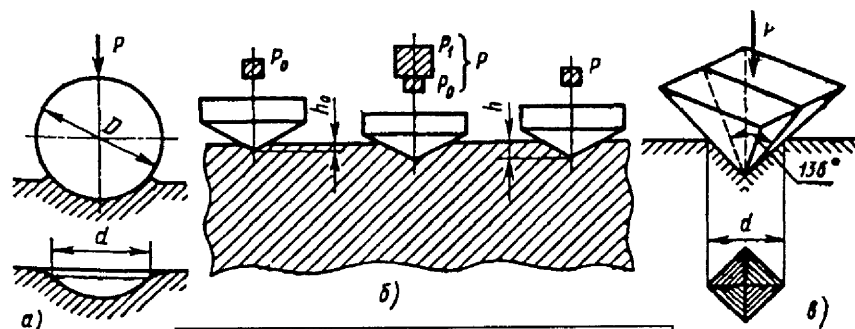


Рис. 3 Схема определения твердости: а - по Бринеллю; б - по Роквеллу; в - по Виккерсу

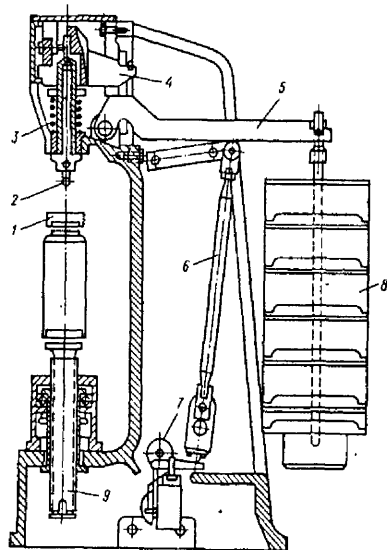


Рис. 4. Схема прессы Бринелля: 1 – столик, 2 – шарик, 3 – пружина, 4, 5 – рычаги, 6 – шатун, 7 – эксцентрик, 8 – грузы, 9 – винт

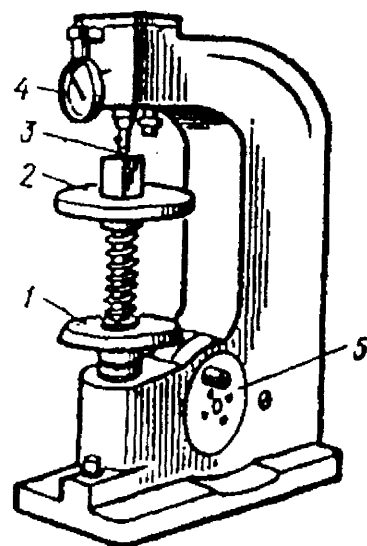


Рис. 5. Пресс Роквелла: 1 – маховик, 2 – столик, 3 – алмазный конус, 4 – циферблат, 5 – рукоятка

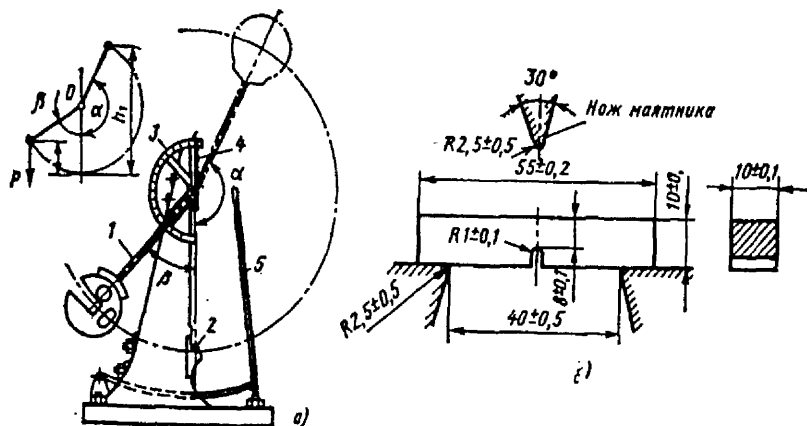


Рис. 6. Схема маятникового копра (а) и образца при испытании (б): 1 – маятник; 2 – образец; 3 – шкала; 4 – стрела; 5 – тормоз

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Технологические:

- литейные: жидкотекучесть, усадка, ликвация (внутрикристаллическая и межкристаллическая)
- ковкость
- свариваемость
- обрабатываемость резанием

Эксплуатационные:

- износостойкость
- хладностойкость
- жаропрочность
- антифрикционность

Технологические свойства. Характеризуют способность металлов подвергаться обработке в холодном и горячем состояниях. Технологические свойства определяют при технологических пробах, которые дают качественную оценку пригодности металлов к тем или иным способам обработки. Образец, подвергнутый технологической пробе, осматривают. Признаком того, что образец выдержал испытание, является отсутствие трещин, надрывов, расслоения или излома. К основным технологическим свойствам относят: литейные свойства, ковкость, свариваемость, обрабатываемость резанием и др.

Литейные свойства металлов характеризуют способность их образовывать отливки без трещин, раковин и других дефектов. Основными литейными свойствами являются жидкотекучесть, усадка и ликвация.

Жидкотекучесть - способность расплавленного металла хорошо заполнять полость литейной формы.

Усадка при кристаллизации - это уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое; является причиной образования усадочных раковин (см. рис. 36) и усадочной пористости в слитках и отливках.

Ликвация — неоднородность химического состава сплавов, возникающая при их кристаллизации, обусловлена тем, что сплавы, в отличие от

чистых металлов, кристаллизуются не при одной температуре, а и интервале температур. Чем шире температурный интервал кристаллизации сплава, тем сильнее развивается ликвация, причем наибольшую склонность к ней проявляют те компоненты сплава, которые наиболее сильно влияют на ширину температурного интервала кристаллизации (для стали, например, сера, кислород, фосфор, углерод). Ликвации бывают внутрикристаллическими (микронеоднородности) и межкристаллическими (макронеоднородности)

Ковкость - способность металла обрабатываться давлением в холодном или горячем состоянии без признаков разрушения. Определяют кузнечной пробой на осадку до заданной степени деформации. Высота образца для осадки равна обычно двум его диаметрам. Если на боковой поверхности образца трещина не образуется, то такой образец считается выдержавшим пробу, а испытуемый металл — пригодным для обработки давлением.

Свариваемость — способность металлов образовывать неразъемное соединение, свойства которого близки к свойствам основного металла. Определяют пробой сваренного образца на загиб или растяжение.

Обрабатываемость резанием — одно из важнейших технологических свойств, т.к. подавляющее большинство заготовок, а также деталей сварных узлов и конструкций подвергается механической обработке (рис. 7). Одни металлы обрабатываются хорошо до получения чистой и гладкой поверхности, другие же (имеющие высокую твердость) - плохо. Очень вязкие металлы с низкой твердостью также плохо обрабатываются: поверхность получается шероховатой, с задирами. Улучшить обрабатываемость, например, стали можно термической обработкой, понижая или повышая ее твердость.

Эксплуатационные свойства. Эти свойства определяют в зависимости от условий работы машины специальными испытаниями. Одним, из важнейших эксплуатационных свойств является износостойкость. К эксплуатационным свойствам также относятся хладнотоккость, жаропрочность, антифрикционность и др.

Износостойкость - свойство материала оказывать сопротивление износу, т.е. постепенному изменению размеров и формы тела вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении. Испытание металлов на износ проводят на образцах в лабораторных условиях, а деталей — в условиях реальной эксплуатации. При испытаниях образцов моделируются условия трения, близкие к реальным (рис. 8-10). Величину износа образцов или деталей определяют различными способами: измерением размеров, взвешиванием образцов и другими методами.

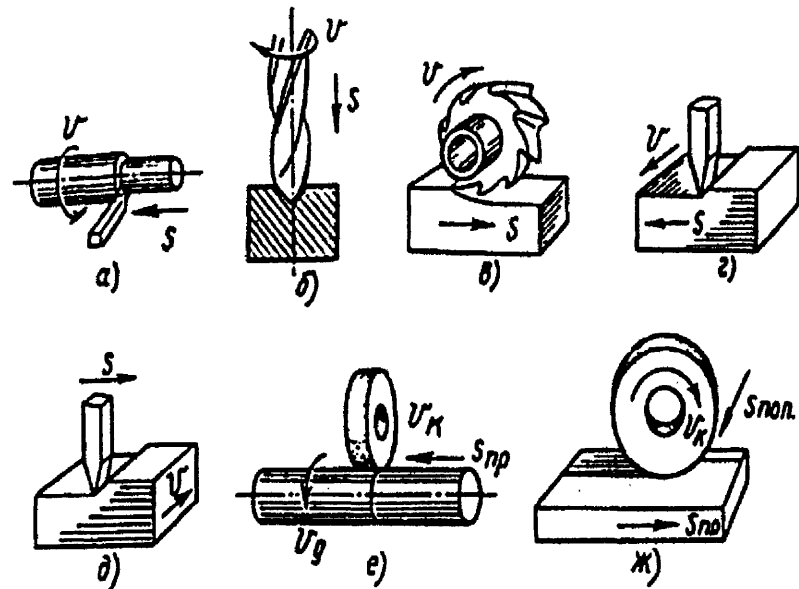


Рис. 7. Виды обработки металлов резанием: а – точение; б – сверление; в – фрезерование; г, д – строгание; е, ж – шлифование

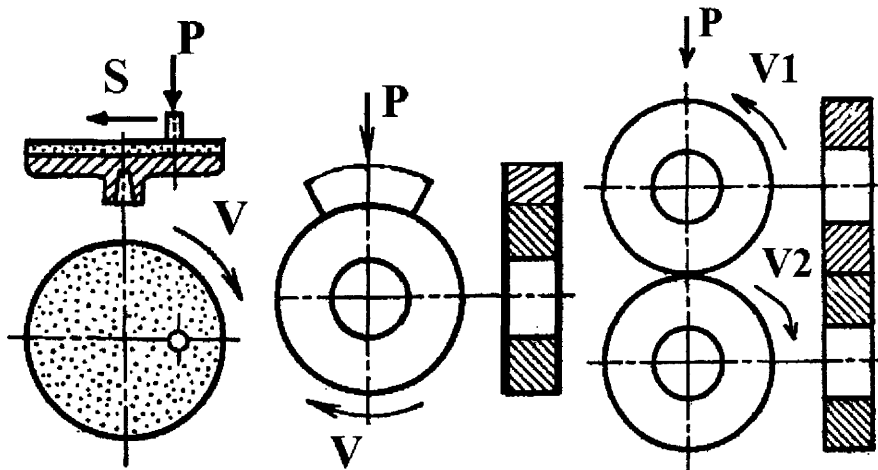


Рис. 8. Испытание на износ трением образца об абразивный шлифовальный круг

Рис. 9. Испытание на износ качением цилиндрических роликов с принудительным проскальзыванием

Рис. 10. Испытание на износ трением цилиндрических поверхностей ролика и вкладыша при вращении ролика

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физические:

- Цвет
- Плотность
- Температура плавления
- Теплопроводность
- Тепловое расширение
- Теплоемкость
- Электропроводимость
- Магнитность

Химические:

- Химическая активность
- Коррозия
- Жаростойкость (окалиностойкость)

Физические свойства. К физическим свойствам металлов относят цвет, плотность, температуру плавления, теплопроводность, тепловое расширение, теплоемкость, магнитные свойства, электропроводность и др.

Цвет - способность металлов отражать световое излучение с определенной длиной волны. Например, медь имеет розово-красный цвет, алюминий — серебристо-белый.

Плотность металла характеризуется его массой, заключенной в единице объема. По плотности все металлы делят на легкие (менее 4500 кг/м^3) и тяжелые. Плотность имеет большое значение при создании различных изделий. Например, в самолето- и ракетостроении стремятся использовать более легкие металлы и сплавы (алюминиевые, титановые, магниевые), что способствует снижению массы изделий.

Температура плавления - температура, при которой металл переходит из твердого состояния в жидкое. По температуре плавления различают тугоплавкие металлы (вольфрам: $T_{\text{пл}} = 3416^\circ\text{C}$, тантал: $T_{\text{пл}} = 2950^\circ\text{C}$, титан: $T_{\text{пл}} = 1725^\circ\text{C}$ и др.) и легкоплавкие (олово: $t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$, свинец: $t_{\text{пл}} = 327^\circ\text{C}$, цинк: $T_{\text{пл}} = 419,5^\circ\text{C}$, алюминий: $T_{\text{пл}} = 660^\circ\text{C}$). Температура плавления имеет большое значение при выборе металлов для изготовления литых изделий, сварных и паяных соединений, термоэлектрических приборов и других изделий. В системе СИ температуру плавления выражают в градусах Кельвина (К).

Теплопроводность - способность металлов передавать тепло от более нагретых к менее нагретым участкам тела. Золото, серебро, медь, алюминий обладают большой теплопроводностью. Железо имеет теплопроводность

примерно в три раза меньше, чем алюминий, и в пять раз меньше, чем медь. Теплопроводность имеет большое значение при выборе металла для деталей. Например, если металл плохо проводит тепло, то при нагреве и быстром охлаждении (термическая обработка, сварка) в нем образуются трещины. Некоторые детали машин (поршни двигателей, лопатки турбин) должны быть изготовлены из материалов с хорошей теплопроводностью. В системе СИ теплопроводность имеет размерность $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Тепловое расширение - способность металлов увеличиваться в размерах при нагревании и уменьшаться при охлаждении. Тепловое расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения $a = (l_2 - l_1) / [l_1 (t_2 - t_1)]$, где l_1 и l_2 длины тела при температурах t_1 и t_2 . Коэффициент объемного расширения равен $3a$. Тепловые расширения должны учитываться при сварке, ковке и горячей объемной штамповке, изготовлении литейных форм, прокатных валков, штампов, калибров; выполнении точных соединений и сборке приборов, при строительстве мостовых ферм, укладке железнодорожных рельсов.

Теплоемкость - способность металла при нагревании поглощать определенное количество тепла. В системе СИ имеет размерность Дж/К. Теплоемкость различных металлов сравнивают по величине удельной теплоемкости - количеству тепла, выраженному в больших калориях, которое требуется для повышения температуры 1 кг металла на 1°C (в системе СИ - Дж/кг К)).

Электропроводимость и электросопротивление - способность металлов проводить электрический ток. Электрическая проводимость оценивается в системе СИ в сименсах (См), а удельная электропроводимость — в См/м, аналогично электросопротивление выражают в омах (Ом), а удельное электросопротивление - в Ом/м. Хорошая электропроводимость необходима, например, для токонесущих проводов (медь, алюминий). При изготовлении электронагревательных приборов и печей необходимы сплавы с высоким электросопротивлением (нихром, манганин, константан). С повышением температуры металла его электропроводимость уменьшается, а с понижением - увеличивается.

Магнитные свойства характеризуются абсолютной магнитной проницаемостью или магнитной постоянной, т. е. способностью металлов намагничиваться. В системе СИ магнитная постоянная имеет размерность Гн/м. Высокими магнитными свойствами обладают железо, никель, кобальт и их ферромагнитные сплавы. Материалы с магнитными свойствами применяют для изготовления магнитов и в электротехнической аппаратуре.

Химические свойства. Химические свойства характеризуют способность металлов и сплавов сопротивляться окислению или вступать в соединение с различными веществами: кислородом воздуха, растворами кислот, щелочей и др. Чем легче металл вступает в соединение с другими элементами, тем быстрее он разрушается.

Коррозия - химическое разрушение металлов под воздействием на их поверхность внешней агрессивной среды.

Жаростойкость (окалиностойкость) - стойкость к окислению при сильном нагреве. Такие металлы применяют для изготовления деталей, которые эксплуатируются в зоне высоких температур.

Сопротивление металлов коррозии, окалинообразованию и растворению определяют по изменению массы испытуемых образцов на единицу; поверхности за единицу времени. Химические свойства металлов должны учитываться при изготовлении тех или иных изделий. Особенно это относится к изделиям или деталям, работающим в химически агрессивных средах.

КОРРОЗИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

По условиям протекания:

- газовая
- жидкостная
- почвенная
- атмосферная

По характеру дополнительных внешних воздействий:

- щелевая
- контактная
- радиационная
- под напряжением
- при ударном и истирающем воздействии
- биокоррозия
- органогенная

По характеру разрушений:

- общая (сплошная): равномерная, неравномерная
- локальная (местная, селективная): пятнами, язвами, точками (питтинг), подповерхностная, структурно-избирательная, компонентно-избирательная, межкристаллитная, ножевая в зоне сварного шва
- коррозионное растрескивание

Коррозией называется разрушение металлов и сплавов вследствие химического и физико-химического воздействия на них окружающей среды. При техническом проектировании серьезное внимание уделяется мероприятиям защиты от коррозии (рис. 11).

Различают два вида коррозии металлов: химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия происходит при воздействии на металл или сплав сухих газов при повышенных температурах и жидких неэлектролитов (бензин, смола, масло и др.).

Электрохимическая коррозия происходит при действии на металлы жидких электролитов (водные растворы солей, щелочи, кислоты), влажного воздуха, т.е. проводников электричества. В технике больше всего приходится иметь дело с электрохимической коррозией.

По условиям протекания коррозия делится, в зависимости от окружающей среды, на газовую, жидкостную, почвенную, атмосферную. А в зависимости от дополнительных внешних воздействий на щелевую, контактную, радиационную, под напряжением, при ударном и истирающем воздействии, биокоррозию и органогенную.

По характеру разрушений металлов в результате воздействия агрессивных сред коррозия разделяется на общую (сплошную) и локальную (местную, селективную) (рис. 12).

Общую коррозию разделяют на равномерную и неравномерную, а локальную - на коррозию пятнами, язвами, точками (питтинг) и подповерхностную структурно-избирательную, компонентно-избирательную, межкристаллитную (МКК), ножевую - в зоне сварного шва.

В особый вид выделяют коррозионное растрескивание, вызываемое дополнительными напряжениями

Локальная коррозия более опасна, нежели общая, так как при сравнительно небольшой потере массы металла механические и функциональные характеристики аппаратуры резко снижаются. Примером локальной коррозии являются свищи в стенках аппаратов, емкостей, трубопроводов и т.д. Большинство из приведенных разновидностей коррозии характерно для условий эксплуатации основной и вспомогательной аппаратуры химических производств.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ КОРРОЗИОННОГО ПРОЦЕССА

Внутренние и внешние. Внутренние: природа металла (сплава), его состав, структура, состояние поверхности и т.д. Внешние - факторы, определяющиеся природой и свойствами коррозионной среды и ее параметрами: температура, давление, рН, скорость движения жидкости и т.д. Причем влияние этих факторов не всегда однозначно даже при действии их в отдельности. Удобно для анализа кинетики коррозионного процесса разделять все факторы на три подгруппы (табл. 1):

- а) факторы, связанные с технологическим режимом того или иного процесса (производства);
- б) факторы, связанные с конструктивным исполнением аппарата (либо его элемента);
- в) факторы, характеризующие состояние металла.

Факторы технологические (эксплуатационные)

Время эксплуатации даже в самых стабильных, регламентных условиях работы оборудования оказывает существенное влияние как на развитие коррозии, так и на надежность и работоспособность аппаратов. Особенно заметно влияние времени для конструкционных материалов аппаратов, где возможно появление скрытых очагов коррозии.

Температура может неоднозначно влиять на скорость коррозии. Температура изменяет скорость диффузии кислорода, перенапряжение электродных процессов, степень анодной пассивности, растворимость возможных продуктов коррозии. В ряде случаев повышение температуры может оказать положительное влияние (например, в условиях атмосферной коррозии), способствуя испарению пленок влаги с поверхности металлических конструкций.

Фактор pH влияет на скорость электрохимической коррозии металлов, растворимость продуктов коррозии и образование защитных пленок на поверхности корродирующего металла, а также на перенапряжение электродных реакций.

Фактор загрязнения сред и поверхностей конструкционных материалов достаточно сложен, характер его проявления в отношении скорости коррозии многообразен. Загрязнения могут способствовать депассивации защищенных от коррозии поверхностей. Некоторые добавки (например, технологические примеси) могут либо значительно ускорять коррозию, либо замедлять, а иногда предотвращать. В первом случае вещества (добавки) называют стимуляторами (проторами) коррозии, во втором – замедлителями, или ингибиторами коррозии. К активным стимуляторам относятся, например, анионы галогеноводородных кислот.

Скорость движения жидкости особенно сказывается на скорости кислородной коррозии, в первую очередь в водных природных средах; этот фактор необходимо учитывать при возможном прогнозе коррозии для теплообменной аппаратуры, где хладагентом служит вода. Необходимо учитывать качество ее подготовки. При неравномерном обтекании конструкции жидкой средой, образовании застойных зон, резком изменении скорости или направления движения потока жидкости в трубопроводе или аппарате образуются электрохимические макропары (макроэлементы) и процессы электрохимической коррозии ускоряются. При высоких скоростях жидкости возможны явления кавитации и коррозионной эрозии. Опасными, например,

для коррозионной стойкости материалов насосов могут быть турбулентные потоки, перепады давлений.

Характер контакта поверхности материала конструкции с агрессивными средами (непрерывный, периодический, равномерный, локальный) также значительно влияет на кинетику коррозионного процесса.

Факторы конструктивные

Контакты металлов (сплавов), имеющих различные электродные потенциалы при погружении или смачивании их жидкостями - электролитами, способствуют интенсификации коррозии более электроотрицательного металла и замедлению или прекращению процесса на поверхности более электроположительного металла. Так, например, контакты: нержавеющая сталь - алюминий (или алюминиевый сплав), нержавеющая сталь - оцинкованная поверхность углеродистой стали способствуют возникновению коррозионных эффектов.

Применительно к эксплуатации металлоконструкций аппаратов и трубопроводов в атмосферных условиях допустимость контакта характеризуется следующими показателями коррозии металла (анода) [г/м² в год]:

- Допустимые контакты - менее 50
- Условно-допустимые контакты – 50...150
- Недопустимые контакты - более 150
- Условно-допустимые контакты применимы для ответственных элементов аппаратуры, когда возможны периодическая смазка, возобновление лакокрасочных покрытий, очистка от продуктов коррозии и др.

По опасности контактной коррозии металлы можно разделить на пять групп:

- I группа – магний
- II группа - алюминий, цинк, кадмий
- III группа - железо, сталь углеродистая, свинец, олово
- IV группа - никель, хром, 12X17, 12X18Н9Т
- V группа - золото, серебро, медь-никель, медь

Металлы каждой последующей группы усиливают коррозию металлов предыдущей группы.

Контакт металла с полимером может привести к возникновению коррозии в результате ряда факторов: выделение агрессивных ингредиентов из полимерных материалов при деструкции, удержание влаги набухшим полимером и растворение в ней агрессивных ингредиентов с последующим воздействием на металлы, что может приводить к образованию целевой коррозии. При эксплуатации химической аппаратуры наблюдаются случаи коррозии

цинковых и кадмиевых покрытий при контакте с поликапролактамом и другими полимерными материалами, локальной коррозии легированных сталей 40Х13 и 12Х18Н9Т в зонах контакта с резиной.

Гидравлическое сопротивление элементов конструкций и отсутствие застойных зон - важный фактор, определяющий возможности коррозии, требующий от проектанта разработки форм и сочленений, наиболее благоприятных для защиты поверхностей от коррозии (рис. 13-15).

Концентрация напряжений в конструкции аппарата может привести к частичной или полной потере прочностных свойств. Дополнительное воздействие коррозионно-активных сред приводит к возникновению коррозионного растрескивания, коррозионной усталости, что может вызвать внезапные отказы оборудования, и, как следствие, создание аварийных ситуаций.

Большинство конструкций химической аппаратуры полностью защитить от коррозии практически невозможно. Поэтому, очевидным способом защиты может быть периодический профилактический осмотр и удаление влаги, загрязнений, продуктов коррозии с поверхностей и возобновление защитных покрытий.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

К основным методам защиты относятся следующие:

- а) рациональное конструирование химической аппаратуры;
- б) подбор коррозионностойких металлических и неметаллических материалов конструкций;
- в) применение защитных покрытий (металлических, неорганических, полимерных, лакокрасочных, силикатных, футеровок и т.д.);
- г) электрохимическая защита;
- д) обработка коррозионноагрессивной среды и применение ингибиторов;
- в) консервация и временные нормы защиты.

Рациональное конструирование

Часто коррозия наступает или интенсифицируется из-за конструктивных: особенностей отдельных элементов и узлов аппарата.

Неудачные варианты конструкции способствуют возникновению механических и термических напряжений, застойных зон жидкостей (особенно электролитов), местных перегревов и пр. (рис.13), т.е. явлений, способствующих развитию коррозии. Наиболее коррозионно опасны зоны сварных швов конструкции, где часто возникают очаги коррозии. Чтобы устранить

коррозию прибегают к предупредительным мерам (соответствующий подбор электродов, последующая термическая обработка и т.д.).

Коррозия фланцевых соединений аппаратов может происходить вследствие стекания воды (слабого электролита) по наружной поверхности аппарата, в этом случае применяют защитные щитки. Застой жидкости, накопление ее в порах, углублениях, у трубных распределительных решеток, интенсивное брызгообразование способствуют коррозии. Предупредительные меры в таких случаях рекомендуются следующие:

- а) развальцовка трубок заподлицо с трубными дисками;
- б) вывод жидкости близ самых нижних точек рабочих зон аппаратов;
- в) отказ от применения точечной сварки, при которой трудно избавиться от зазоров и щелей между листами;
- г) конструкция аппаратов не должна способствовать брызгообразованию и уносу (рис.15).

При проектировании емкостей любого типа следует предусмотреть их полное опорожнение, пропарку и осушку, а также исключить возможность накопления влаги под емкостью.

Серьезной проблемой может быть конденсация паров в месте контакта горячего газа с холодным металлом. Сконденсированная жидкость чаще всего обладает агрессивными коррозионными свойствами. Противодействовать подобному явлению можно путем проектирования газопроводов и труб с двойными стенками, подбором таких рабочих температур, при которых невозможна конденсация.

В конструируемых аппаратах не должно быть острых краев, на которые практически невозможно нанести равномерный слой защитных покрытий. Следует избегать условий, при которых возникают слишком большие механические напряжения в материалах, склонных к коррозионному растрескиванию под напряжением (нержавеющие стали, латуни, дюралю).

Подбор коррозионно-стойких металлических материалов

Основная цель подбора материалов для конструкционного оформления химико-технологической системы (аппаратов, трубопроводов, вспомогательных конструкций) - обеспечение безопасности работы данного объекта, надежности и экономически оправданного срока эксплуатации. Некоторые общие рекомендации по подбору конструкционных материалов даны ниже.

1. Материалы следует выбирать с учетом пригодности их рабочих характеристик и способности надежно выполнять свои функции (при умеренных расходах) в течение экономически обоснованного срока службы.

2. Необходимо рассматривать и анализировать весь комплекс материалов как единое целое, а не каждый материал в отдельности. Более стойкие материалы надо применять для изготовления наиболее ответственных элементов аппаратов и конструкций. Менее стойкие можно использовать для неответственных часто и легко сменяемых элементов (смотровые люки, крышки, лопасти мешалок и др.)

3. В средах, (сухих, жидких, газовых) с тщательно контролируемым составом можно использовать многие материалы даже без специальной защиты. В атмосферных условиях, даже в загрязненной среде, можно не защищать такие материалы, как нержавеющие стали и алюминиевые сплавы. В более агрессивной влажной среде целесообразнее применять относительно дешевые материалы с организацией дополнительной защиты. Для критических «агрессивных» условий в большинстве случаев предпочтительнее коррозионностойкие материалы, чем более дешевые материалы с дорогостоящей защитой.

4. При выборе материала важна оценка его коррозионной стойкости в данной среде. Справочные данные желательно брать по максимальному времени экспозиции при испытаниях. При этом необходимо учитывать влияние: а) возможных технологических загрязнений (например, присутствие фторид-ионов в технических сортах фосфорной кислоты, оксидов азота в технических сортах серной кислоты, влаги в органических растворителях и т.д., что искажает достоверность справочных данных о коррозионной стойкости материалов); б) возможных продуктов коррозии как на конструкционный материал, так и на технологическую среду. Следует учитывать также возможную склонность к специфическим видам коррозии (межкристаллитной, растрескиванию, питтингу), к обрастанию инкрустациями и биоотложениями.

5. Когда ожидаются коррозионное или эрозионно-кавитационное поражение (износ) стенки аппарата или трубопровода, следует предусматривать увеличение толщины стенки сверх размера, определяемого другими функциональными требованиями проекта. Данный припуск должен быть таким, чтобы при различных видах коррозии и эрозии толщина стенки конструкции или трубопровода не становилась меньше толщины необходимой для механической прочности изделия. В общем случае, в соответствии с условиями механической прочности толщина стенки берется равной удвоенной толщине, обеспечивающей необходимый срок эксплуатации.

6. Следует предпочтительно применять неметаллические материалы, отвечающие следующим требованиям: низкое влагопоглощение, стойкость к грибкам и микроорганизмам, стойкость в заданном интервале температур, совместимость с другими материалами, стойкость к огню и электрическим разрядам, неподверженность газовой выделению и способность противостоять выветриванию.

Оценка коррозионного состояния элементов
металлических конструкций

Критерии оценки коррозионного состояния элементов металлических конструкций с покрытиями и без них									
Группа стойкости	Балл	Металлы и металлические покрытия			Защитные покрытия		Лакокрасочные покрытия		
		Площадь очагов коррозии, %	Скорость коррозии, мм/год	Сплошная коррозия, %	Вздутия, отслаивания, %	Очаги коррозии, металла, %	Выветривание	Растрескивание	
Совершенно стойкие	0	Отсутствие							
I стойкие	1	Менее 0,1	Менее 0,001	Отсутствие					
	2	0,1 – 1,0	0,001 – 0,005						
II Удовлетворительно стойкие	3	1,1 – 2,0	0,006 – 0,020	Отсутствие					трещины или поверхностная сетка, видимые при x12
	4	2,1 – 5,0	0,02 – 0,05						
III Понижено стойкие	5	5,1 – 1,0	0,06 – 0,10	Менее 5	Менее 2	отсутствие	Отсутствие верхнего слоя до 5% поверхности	Трещины или сетка, видимые невооруженным глазом до 5% поверхности	
	6	11 - 20	0,2 – 0,5	5 - 10	2 - 5				
IV нестойкие	7	21 – 50	0,6 – 1,0	11 – 20	6 – 11	Менее 5% - 10	До просветления грунта или подложки 10% поверхности	То же, до 50% глубоких трещин до 5% поверхности	
	8	>50	2 - 5	21 - 50	11 - 20				
V Совершенно нестойкие	9	-	6 – 10	>50	21 – 50	11 – 20	То же, свыше 10%	То же, свыше 50% глубоких трещин до 5% поверхности	
	10		> 10						



Рис. 11. Схема мероприятий по защите от коррозии при проектировании

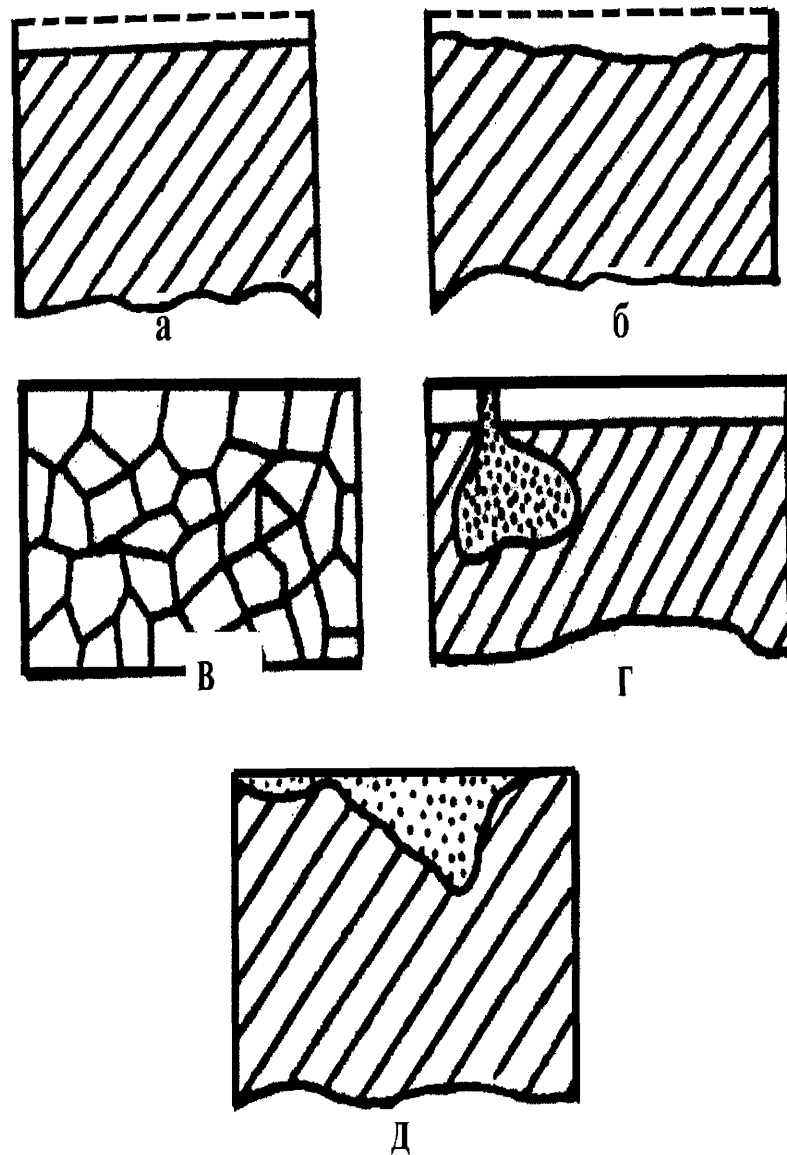


Рис. 12. Виды коррозионных разрушений: а - сплошная равномерная; б - сплошная неравномерная; в - межкристаллитная; г - подповерхностная; д - локальная (язвенная, питтинг)

Таблица 2.

Классификация факторов, влияющих на скорость коррозии

Группа	Название факторов
а) Факторы, связанные с технологическим режимом того или иного производства	Температура среды (диапазон возможных колебаний). Давление среды (постоянное, перепадов, диапазон колебаний). Время эксплуатации. Природа и рН среды (окислительная, восстановительная, нейтральная). Характер загрязнения (механическое, агрессивные компоненты, продукты коррозии, биоконфигуранты). Наличие стимуляторов или ингибиторов коррозии (активаторов, пассивирующих сред или условий депассивации). Скорость и характер движения среды, характер контакта с агрессивной средой. Внешние нагрузки (масса, ветер, взаимодействие элементов конструкций, трение и др.). Воздухообмен: открытая атмосфера, закрытое пространство и др.
б) Факторы, связанные с конструктивным исполнением аппарата (либо элемента аппарата)	Возможность контакта: - разнородных металлов, - металла с полимером. Расположение элементов конструкций в аппарате или технологической схеме. Конфигурация элементов аппарата, наличие застойных зон и др. Концентрация напряжений. Специфика соединений элементов (способ и дефекты). Специфика защитных покрытий. Доступность возобновления покрытий. Возможность применения дополнительной защиты.
в) Факторы, характеризующие состояние металла	Склонность металла к пассивации. Тип сплава. Соотношение компонентов в сплаве. Структура металла (сплава). Чистота поверхности. Химический состав металла (степень чистота, содержание легирующих элементов, примеси). Способ изготовления полуфабрикатов (литье, штамповка, обработка резанием и др.). Особенности обработки поверхности (механическая, термо-химическая, химико-термическая, электрохимическая и др.)

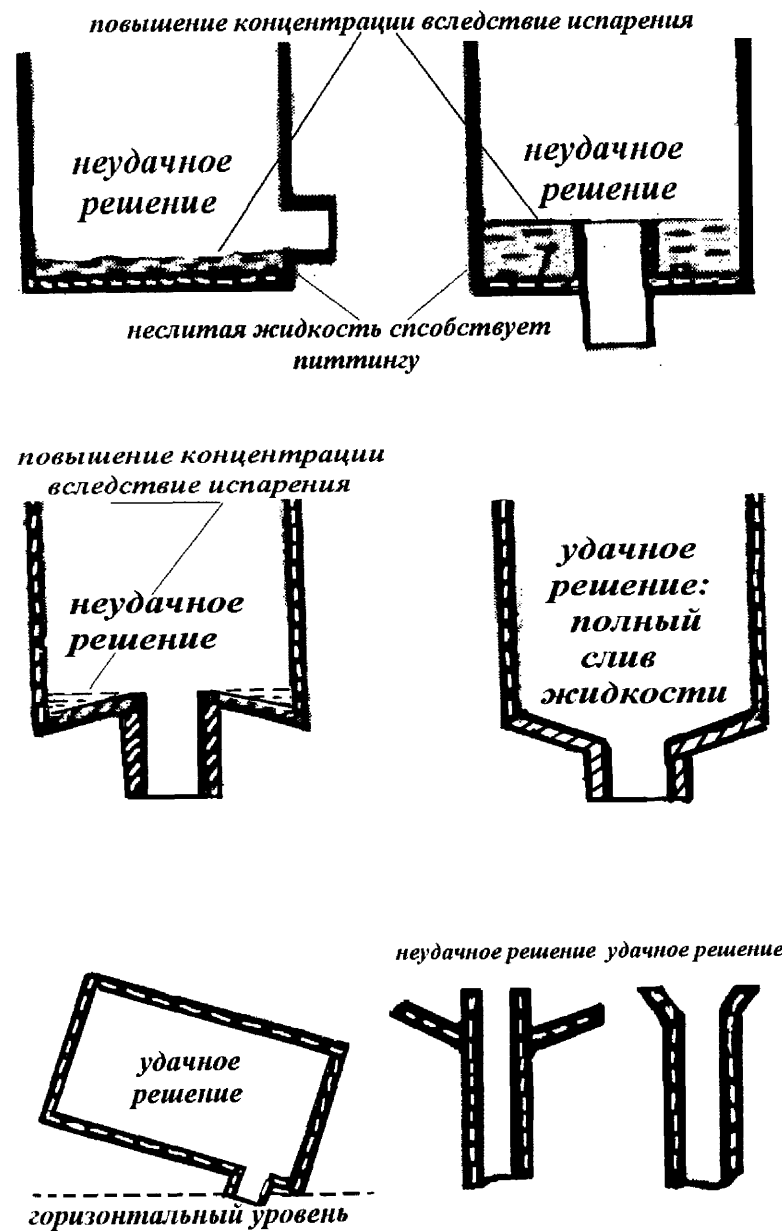


Рис. 13. Рациональное конструирование как метод защиты от коррозии

Неметаллические конструкционные материалы

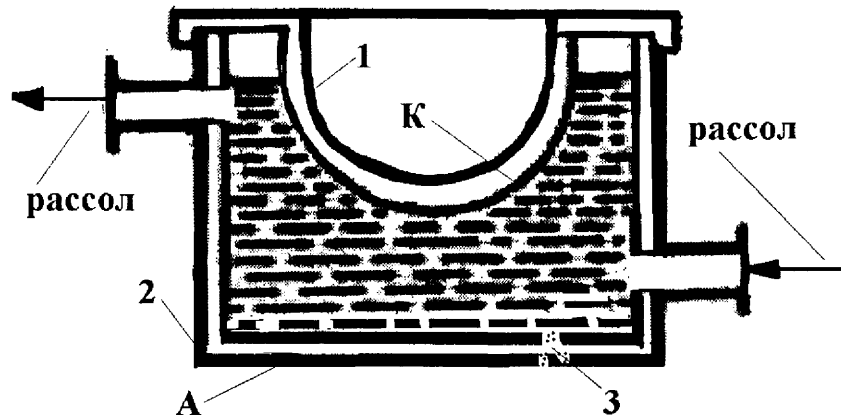


Рис. 14. Коррозионное повреждение материала емкости-охладителя: 1 - сборник продукта; 2 - емкость с рассолом, покрытая изнутри эпоксидной смолой; 3 - язвенная коррозия в форме перфорации в дне; А - анод; К - катод

ОСАДКИ НА СТЕНКАХ

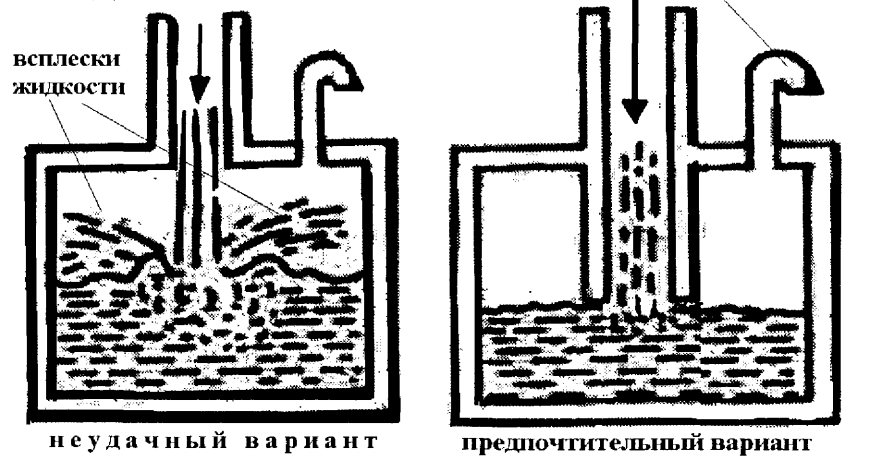


Рис. 15. Рациональное конструирование как метод защиты от коррозии

Конструкции из химостойких полимерных и других неметаллических конструкционных материалов находят все более широкое применение в области капитального строительства благодаря ряду преимуществ по сравнению с традиционными защитными покрытиями, т.к. они обладают существенно малой трудоемкостью и материалоемкостью. Эти материалы служат для изготовления как самостоятельных конструкций (трубопроводная арматура, газоходы, емкостная аппаратура и т.д.), так и в качестве облицовочных материалов.

Среди разнообразных и многочисленных полимерных материалов, применяемых в противокоррозионной технике, все большее место занимают стеклопластики и бипластмасы, получаемые на основе различных синтетических смол и стекловолоконных наполнителей.

Высокая механическая прочность, малая плотность и стойкость к действию различных реагентов позволяют широко использовать ценные свойства стеклопластиков для изготовления реакторов, резервуаров, газоходов.

Наиболее перспективными в области применения полимерных материалов являются конструкции из бипластмасс, состоящие из внутреннего химостойкого слоя (термопласта) и внешнего упрочняющего слоя (стеклопластика).

Улучшение свойств конструкционных полимерных материалов, совершенствование методов конструирования оборудования из этих материалов позволяет экономить дефицитные высоколегированные стали, а также заменять дорогостоящее футерованное оборудование.

Данные о некоторых стандартных полуфабрикатах и композициях из неметаллических конструкционных материалов приводятся ниже.

Таблица 3.

Трубы камнелитые неармированные.

190	240	290	340	390	440	$d_{\text{внутр}}$, мм
219	273	325	377	426	480	$d_{\text{нар}}$, мм трубы стальной футеруемой
4,5	5,0	5,0	5,0	5,5	6,0	$\delta_{\text{ст}}$, мм

ГОСТ 22620-77

Назначение: футеровка стальных труб.

Таблица 4.

Трубы из графитопластовых марок АТМ-1 и АТМ-1т.

22	26	32	40	50	60	70	75	80	90	D _{внутр} , мм
32	37	42	52	63	74	85	90	98	114	D _{нар} , мм

ТУ 48-20-13-77.

Назначение: изготовление деталей химической аппаратуры, колец Рашига и трубопроводов.

Таблица 5.

Трубы фарфоровые и фасонные части к ним.

45	50	64	80	116	136	190	D _{нар} , мм
25	30	40	50	80	100	190	D _{внутр} , мм
2,64	3,01	4,70	7,35	13,30	16,04	25,62	Масса пог.м, кг

ОСТ 21-36-79

Назначение: футеровка стальных труб.

Трубы керамические.

ГОСТ 286-74

Назначение: для футеровки стальных труб.

Трубы полиэтиленовые.

ГОСТ 18599-73

Назначение: транспортировка химически агрессивных сред.

Температурный предел применения: 70°C.

Средний наружный диаметр, мм:

10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630.

Трубы полипропиленовые.

ТУ 38-102100-76

Назначение: транспортировка химически агрессивных сред.

Температурный предел применения: 110°C.

Средний наружный диаметр, мм:

10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315. Сварка горячим воздухом или экструзионноконтактным способом.

Трубы из винипласта.

ТУ 6-05-1573-77

Назначение: транспортировка химически агрессивных сред.

Температурный предел применения: 50°C.

Условный проход, мм:

6, 8, 10, 13, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 240.

Трубы фаолитовые.

ТУ 6-05-1170-76

Назначение: транспортировка химически агрессивных сред.

Температурный предел применения: 120°C.

Условный проход, мм:

32, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350.

Плитка кислотоупорная.

ГОСТ 961-79 (табл.3)

Таблица 6.

Химическая стойкость кислотоупорной плитки

Среда	концентрация, масс. %	t, °C
Стойкая		
Кислоты:		
жирные	любая	до кипения
муравьиная	-"	-"
уксусная	-"	-"
Ацетон	-"	-"
Четыреххлористый углерод	-"	-"
железо хлористое	-"	-"
железо хлорное	-"	-"
калий йодистый	-"	-"
медь сернокислая	-"	-"
натрий хлористый	-"	-"
Относительно стойкая		
натр едкий	разб. раствор	25
калий углекислый	конц. раствор	кипение

Профилированный полиэтилен.

ТУ 7-19-4-77

Назначение: химзащита емкостей.

Стоек для агрессивных сред до $t = 50^{\circ}\text{C}$.

Полипропилен листовой.

ТУ 38-10288-75

Назначение: конструкционный материал для изготовления оборудования, аппаратов, газоходов и т.д., работающих в агрессивных средах.

Стоек:

соли, основания - $t = 20-100^{\circ}\text{C}$

кислоты - $t = 20-80^{\circ}\text{C}$.

Органические соединения:

ацетон - до 20°C (относительно стоек до 60°C)

муравьиная кислота (до 10 масс.%) - $t = 20-60^{\circ}\text{C}$

уксусная кислота (до 80 масс.%) - $t = 20-80^{\circ}\text{C}$

спирт этиловый - $t = 20^{\circ}\text{C} - t_{\text{кипения}}$

толуол - $t = 20^{\circ}\text{C}$ (относительно стоек до 60°C)

щавелевая кислота - относительно стоек до 60°C

Винипласт листовой.

ГОСТ 9639-71

Конструкционный материал для изготовления оборудования, газоходов и т.д., работающих в агрессивных средах.

Стоек: кислоты до $t = 20-40^{\circ}\text{C}$

соли, основания - $t = 20-40^{\circ}\text{C}$

органические растворители - $t = 20-40^{\circ}\text{C}$

(этиловый спирт и толуол) - $t = 20^{\circ}\text{C}$

Относительно стоек:

кислоты - $t = 60^{\circ}\text{C}$

соли - $t = 60^{\circ}\text{C}$

органические растворители - $t = 60^{\circ}\text{C}$

($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) - $t = 40^{\circ}\text{C}$

Фаолит.

ТУ 64-05-1169-75 (листы)

Назначение: изготовление оборудования, аппаратов, работающих в агрессивных средах.

Стоек:

кислота до 60°C

(крене фосфорной до 20°C)

соли до 100°C

муравьиная кислота (до 40%) - $t_{\text{кип}}$

толуол (100%) - 100°C

Жидкие резиновые смеси на основе эластомеров

Защита химической аппаратуры и оборудования от коррозии в настоящее время в значительной степени осуществляется методом приклейки сырой листовой резины с последующей вулканизацией при повышенной температуре, что требует затрат большого количества энергии, применения громоздкого оборудования, пожароопасных и токсичных растворителей.

Применение эластичных покрытий на основе жидких резиновых смесей позволяет производить гуммирование без последующей вулканизации, избегать применения клеев, что значительно упрощает процесс нанесения покрытий и снижает стоимость противокоррозионных работ.

Латексное антикоррозионное покрытие "Полан-М".

ТУ 38-106309-80

Назначение: эластичный непроницаемый подслоу под футеровку штучными кислотоупорными материалами в целях защиты аппаратуры, работающей в агрессивных средах в диапазоне температур от -309°C до $+100^{\circ}\text{C}$ (в основном производстве экстракционной H_3PO_4).

Стойко в диапазоне температур $-30...+100^{\circ}\text{C}$ в средах:

экстракционная H_3PO_4 - любой концентрации

техническая H_3PO_4 - "-

полифосфорная кислота - "-

плавиковая кислота - "-

кремнефтористоводородная кислота - "-

серная кислота до 60 масс.% фторсоли - любой концентрации

Покрытие на основе тиоколового герметика марки У-30М.

ГОСТ 13489-79

Назначение: бесшовное гуммировочное покрытие металлических и бетонных поверхностей.

Стойкость:

кислоты неорганические - до 60°C

едкий натр:

10 масс.% - до 60°C

20 масс.% - до 60°C

40 масс.% - до 70°C

органические растворители - 60°C

Эпоксидно-каучуковая композиция

Назначение: монолитное покрытие холодного отверждения для защиты металлического аппарата, эксплуатируемой при повышенной температуре в условиях воздействия агрессивных сред (производство фосфорных удобрений)

Устойчива к кислотам:

кремнефтористоводородной 20 масс.% - до 70°C
 серной 30 масс.% - до 70°C
 соляной 17 масс.% - до 90°C
 фосфорной 40 масс.% - до 90°C
 фтористоводородной 5 масс.% - до 70°C

Подбор сталей и сплавов для химического оборудования

Рациональный подбор конструкционных металлических материалов для изготовления химического оборудования определяет надежность, долговечность и технический уровень современных химико-технологических систем. Рекомендуется упрощенный вариант системы подбора сталей и сплавов для химического оборудования разработанного в НИИХИММАШ. Предлагаемая НИИХИММАШ система подбора сталей и сплавов для химического оборудования приведена на рис.16. Система основана на анализе основных свойств материалов и реакционных сред. Подбор материала для изготовления химического оборудования следует осуществлять с помощью анализа отдельных групп свойств и параметров в следующей последовательности:

а) определение требований коррозионной стойкости, предъявляемых к данному виду оборудования и подбор материалов и защитных покрытий, удовлетворяющих требованиям коррозионной стойкости (бывший Государственный стандарт - ГОСТ 13819-68)

б) выбор материалов, определенных согласно требованиям пункта "а", обладающих необходимыми механическими свойствами;

в) отбор из сталей (сплавов), удовлетворяющих требованиям пункта "б", материалов с необходимыми для изготовления данного вида оборудования технологическими свойствами;

г) выбор материалов, из отобранных по пункту "в", удовлетворяющих требованиям экономичности, наименьшей дефицитности, и затем наиболее полной освоенности промышленного выпуска необходимого сортамента продукции.

Принимая во внимание экономические соображения, металлы и сплавы с учетом их коррозионной стойкости можно разделить на три класса:

1 класс - металлы и сплавы с относительно высокой ценой: серебро, титан, никель-молибденовые и никель-молибден-хромовые сплавы, тантал, цирконий.

2 класс - металлы и сплавы со средней ценой: алюминий, медь, бронза, медноникелевые сплавы, никель, высоколегированные стали.

3 класс - металлы и сплавы с относительно низкой ценой: углеродистые стали, латуни, цинк, цинковые сплавы.

Эта классификация позволяет учитывать стоимость металла при выборе конструкционного материала, если скорость коррозии не превышает значений, указанных в табл. 7.

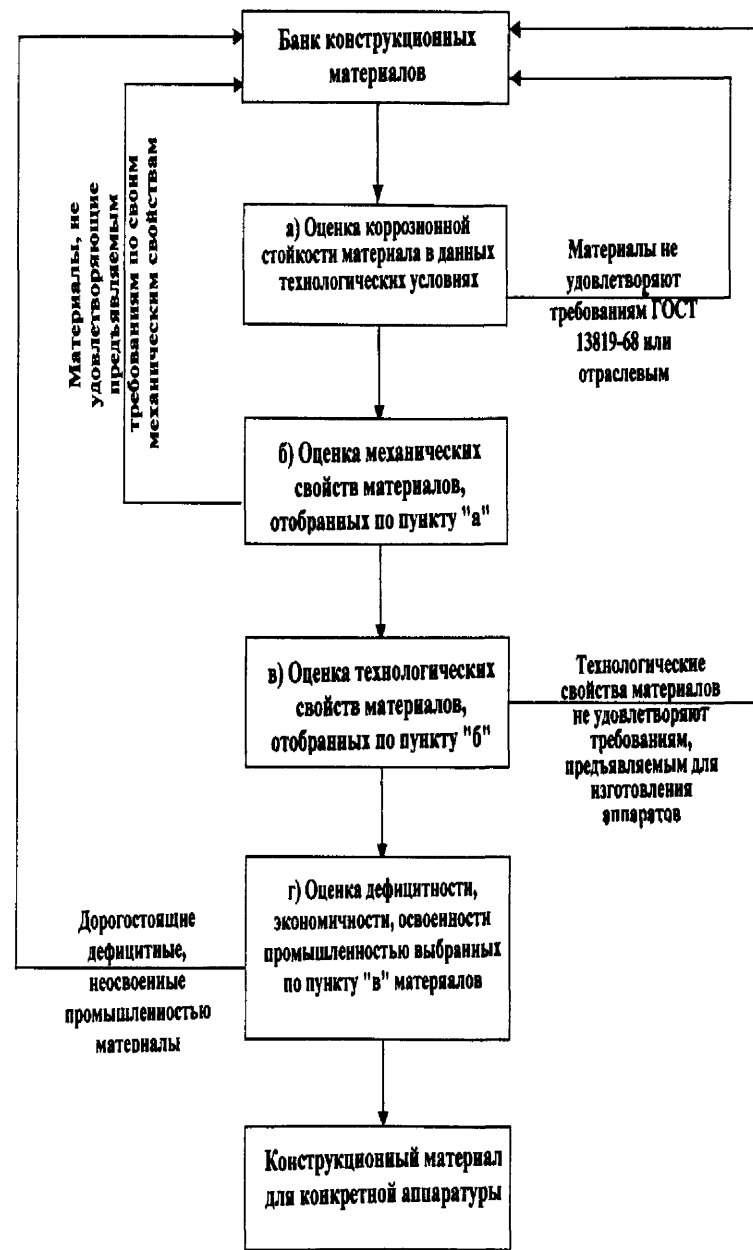


Рис. 16. Система НИИХИММАШа подбора сталей и сплавов для химического оборудования

Таблица 7.

Выбор материала с учетом экономических соображений

Возможность применения	Скорость коррозии, мм/год		
	1 класс	2 класс	3 класс
Полностью применимы	< 0,075	< 0,125	< 0,225
Применимы с защитой	< 0,150	< 0,300	< 0,750
Применимы в специальных условиях временно	<0,250	<0,500	<1.380
Неприменимы	>0.250	>0.500	>1.380

Таблица 8

Основные группы параметров

№ п/п	Параметр	Оборудование и условия его работы при выборе материала, для которого должен быть учтен данный параметр
1	2	3
А) КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ		
1	Стойкость против общей (равномерной) коррозии	Все виды химического оборудования. Параметр определяется по справочным данным, полученным на основании экспериментальных работ и опыта эксплуатации в аналогичных условиях
2	Стойкость против точечной коррозии	Оборудование из сталей и сплавов на железоникелевой, никелевой и алюминиевой основах, работающее в средах, вызывающих точечную коррозию.
3	Стойкость против коррозионного растрескивания	Оборудование из всех сталей и сплавов, работающее в средах, вызывающих коррозионное растрескивание
4	Стойкость против межкристаллической коррозии	Оборудование из сталей и сплавов на железоникелевой, никелевой и алюминиевой основах, работающих в средах, вызывающих межкристаллическую коррозию.
5	Стойкость против щелевой коррозии	Оборудование из коррозионностойких сталей, никелевых сплавов, титана и его сплавов, имеющее зазоры, застойные зоны и т.д.
6	Стойкость против структурно-избирательной коррозии	Оборудование из коррозионностойких сталей аустенито-ферритового класса и сварные соединения коррозионностойких сталей аустенитного класса.

Б) МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

1	Предел текучести	Все виды химического оборудования
2	Относительное удлинение	Все виды химического оборудования. Параметр определяет технологичность выбранных сталей и сплавов. Регламентируется Отраслевыми стандартами – ОСТ по технике безопасности
3	Твердость	Все виды химического оборудования. Параметр определяет механическую обрабатываемость и износостойкость
4	Временное сопротивление	Все виды химического оборудования
5	Ударная вязкость	Все виды химического оборудования
6	Предел выносливости	Циклически нагруженные аппараты (конструкции)
7	Предел текучести при повышенных температурах	Все виды химического оборудования
8	Временное сопротивление при повышенных температурах	Все виды химического оборудования, эксплуатирующегося при повышенных температурах
9	Относительное удлинение при повышенных температурах	Все виды химического оборудования. Параметр определяет технологичность выбранных сталей и сплавов (регламентировался Отраслевыми стандартами - ОСТ по технике безопасности)
10	Переходная температура хрупкости	Все виды химического оборудования. Параметр не учитывается при выборе сталей и сплавов аустенитного класса, титана и алюминия.
11	Трещиностойкость (вязкость разрушения)	Оборудование из высокопрочных материалов, а также материалов, работающих при низкой температуре. Параметр должен учитываться при выборе сталей или сплава повышенной и высокой прочности. Не учитывается для сталей аустенитного класса.
В) ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА		
1	Возможность обработки давлением	Сосуды и аппараты с выпуклыми (в основном с эллиптическими) днищами, элементами с отбортовкой, конически отбортованные дни-

		ща, горловины, переходные обечайки, отбортовки рубашки и т.д.
2	Технологичность труб при развальцовке, отбортовке	Теплообменные аппараты
3	Свариваемость	Все виды химического оборудования.
4	Термообрабатываемость	Все виды химического оборудования.
5	Коэффициент относительной обрабатываемости резанием	Для сравнительной оценки, особенно для оборудования с большим объемом обработки резанием при его изготовлении

Г) ДЛИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Все виды оборудования из коррозионностойких жаростойких, жаропрочных и легированных конструкционных сталей и сплавов

Д) СОРТАМЕНТ МАТЕРИАЛОВ

1. Толстый лист
2. Тонкий лист
3. Сорт
4. Бесшовные трубы
5. Электросварные трубы
6. Лента
7. Проволока, электроды
8. Поковки (штамповки)
9. Отливки
10. Фасонные профили
11. Биметалл

Е) ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

1	Минимальное содержание углерода	Все виды химического оборудования (с целью обеспечения требуемых коррозионной стойкости и свариваемости)
2	Минимальное содержание: А) хрома Б) никеля В) молибдена Г) меди	Все виды химического оборудования из коррозионностойких сталей и сплавов (с целью обеспечения требуемой коррозионной стойкости)

Ж) ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА		
1	Теплопроводность	Все виды химического оборудования
2	Коэффициент линейного расширения	Оборудование, испытывающее температурные напряжения в результате соединения различных конструктивных элементов, применение материалов с различным линейным расширением

Таблица 9

Коррозионная стойкость металлов и неметаллических материалов в растворах поваренной соли

Металлы и сплавы	Температура, °С (состояние)	Коррозионная стойкость, мм/год
1	2	3
Стали		
Углеродистые	100 (расплав)	0.047
Легированные	90	3 - 10
2Х13	Кипение	10
15Х28	Кипение	От 0.1 - 3.0
Х17	Кипение	1.0 - 10.0
Х18Н10Т	Кипение	От 0.1 - 3.0
Х21Н5Т	100	0.1 - 3.0
Х25, Х28	Кипение	0.1 - 3.0
Х17Н13МЕТ	Кипение	0.1 - 1.3
0Х23Н28М3Д3Т	20-кипение	0.1
Чугуны		
Серые	20 - 100	1.0 - 3.0
Кремнистые	Кипение	0.1 - 1.0
Металлы и сплавы		
Алюминий	100	0.1 - 10.0
Медь	Расплав	10
Бронза алюминиевая	100	0.1
Латуни	Кипение	0.045 - 0.081
Никель	100	0.003

Никель	Расплав	3.0 – 3.5
Монель-металл (сплав никеля с медью)	100 – кипение	0.006
H70M27Ф	Кипение	0.01
H55X15M16B	70	0.001
Тантал	20 – 150	0.0001
Титан	20-кипение	0.001
Неметаллы		
Полиэтилен	20 – 100	В
Полиизобутилен	20 – 100	В
Фторопласт 4	20 – 120	В
Фаолит	20 – 100	В
Пентапласт	20 – 120	В
Смолы		
Кремнийорганические	20-кипение	В
Фурановые	20 – 120	В
Эпоксидные	Кипение	В
Лакокрасочные покрытия		
Бакелитовые лаки	80 – 100	0
Кислотоупорная эмаль	20-кипение	В
Неорганические материалы		
Керамика	20-кипение	В
Графит пропитанный	20-кипение	В
Кварц плавленный	Кипение	С
Фарфор	Кипение	С

Таблица 10
Механические свойства металлов и сплавов

Материал	Сост. ма- тер., режим термооб	Темпер °С	Предел проч- ности σ_f кгс/мм ²	Предел теку- чести $\sigma_{0.2}$ кгс/мм ²	Относит. уд- линение %	Твердость, НВ
Сталь Ст.3	Состояние поставки	20	39	22	26	124

Сталь X18H10T	Закалка 1100 С, воз- дух	20	60	29	58	-
Сталь 0X23H28M3ДЗТ	Закалка 1050 С	20 200	68 65	28 20	39 32	80 -
Чугун кремнистый С-15		20	6-7	17	-	300 - 400
Алюминий АД1М	Отожженный	20	8	3	35	25
Латунь Л62	Отожженная	20	34	12	55	56
Никель	Отожженный	20 200	39,2 26,5	7,8 -	30 -	100 -
Монель-металл	Закалка 1050-1100	20	46- 120	17-19	50-2	110- 250
Сплав H70M27Ф	Закалка 1050 С, вода	20 200	102 87	50 36	50 50	- -
Титан BT1-0	Отожженный	20	47	43	23	-

Таблица 11
Технологические свойства металлов и сплавов

Металлы и сплавы, выпускаемые полу- фабрикаты	Технологические свойства; применение, рабочая температура
1	2
Ст.3 (ГОСТ 380-71) Листы, профили, трубы	Пластичные, деформируемые стали, хорошо обра- батываются резанием, свариваются всеми видами сварки
12X18H10T (Y18H10T) Поковки, листы, трубы, прокат	Сварная, емкостная и колонная аппаратура, тепло- обменники. От -253 до 600° С
X23H28M3ДЗТ Листы	Емкостная аппаратура для высокоагрессивных сред
Чугун кремнистый С15 ГОСТ 2233-70, листы литые	Оборудование для упаривания кислоты, насосы, трубопроводы. Термоудары при эксплуатации не допускаются.
Алюминий АД1М ГОСТ 4784-74 Листы, плиты, трубы	Деформируется в горячем и холодном состоянии, сваривается всеми видами сварки. Емкости, трубо- проводы. До 150° С, до 0.3 МПа.
Латунь Л62 (Л63) ГОСТ 15527-70 Листы, трубы, по- ковки	Хорошо обрабатываются давлением, резанием, сва- риваются и паяются. Допускают штамповку и про- тяжку. Детали арматуры, обечайки и днища колон- ной аппаратуры, трубопроводы, теплообменники. От -190 до 120° С

Никель. Листы	Пластинчатый, хорошо деформируемый в холодном состоянии материал. Обрабатывается резанием, сваривается контактной сваркой и аргоновой сваркой. Емкостная и колонная аппаратура.
Монель-металл	Прочные, обрабатываемые при высоких температурах сплавы. Механическая обработка и свариваемость удовлетворительные. Детали арматуры, насосов, теплообменников.
Сплав Н70М27 Листы, трубы, лента	Жаропрочные сплавы, обрабатываются давлением, сваркой. Реакторы, теплообменники, насосы, арматура. До 700°С
Титан ВТИ-0 ГОСТ 19807-70 Прокат, крутка	Хорошо обрабатывается давлением, сваривается всеми видами сварки. Емкостная, теплообменная, колонная аппаратура, насосы, фильтры. До 350°С

Таблица 12

Оценка химической стойкости

Степень химической устойчивости	Характеристика материала	Потери г/м ² ч
0	Устойчив	0.004
1	Довольно устойчив	0.004 – 0.040
2	Слабо устойчив	0.04 – 0.12
3	Неустойчив	Более 0.12

Таблица 13

Оценка материалов трубопроводов

Материал	Стоимость смонтированного трубопровода, руб.	Соотношение стоимости прочих трубопроводов к стеклянному	Срок службы относительный по сравнению со стеклянными	Стоимость 1 м с учетом срока эксплуатации, руб
Стекло	7.54	1.0	1.0	7.54
Фаолит	8.75	1.2	0.2	43.75
Сталь коррозионностойк.	1.31 – 21.40	1.7 – 2.8	0.4	32.75 – 53.5
Медь	16.11	2.1	0.4	40.27
Полиэтилен	7.82	1.03	0.2	39.10

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОТЕРИ ОТ КОРРОЗИИ

Потери от коррозии:

- прямые
- косвенные

Аспекты промышленного ущерба от коррозии:

- технические
- экономические
- экологические
- социальные

Для оценки реального ущерба следует учитывать различные составляющие: технические (рис. 17), экономические (т.е. взаимосвязь составляющих ущерба от коррозии с результатами хозяйственной деятельности) (рис. 18), экологические (рис. 19), социальные (рис. 20).

Так при оценке технического ущерба необходимо учесть безвозвратные потери металлов в результате коррозии; невозможность освоения новых эффективных технологических процессов из-за отсутствия достаточно коррозионностойких материалов для их аппаратурного оформления; потери продукции в результате сквозных коррозионных поражений стенок; брак и снижение качества продукции в результате загрязнения её продуктами коррозии; потери мощности оборудования в результате коррозии; простои оборудования по причине коррозионных разрушений; дополнительный расход металла с учетом коррозии (припуск по толщине); преждевременный выход оборудования из строя по причине коррозии; затраты: энергии, сырья и материалов; трудозатраты; затраты на замену и ремонт прокорродировавшего оборудования, коммуникаций, зданий; на добычу руды, получение и обработку дополнительного количества металлов взамен прокорродировавшего; на осуществление контроля коррозии; на поддержание коррозионной защиты в период эксплуатации основных фондов.

Также важно учитывать наличие социальной составляющей общего ущерба, включающей аварии по причине коррозии, в том числе о человеческими жертвами; малопrestижный, трудоемкий, ручной, связанный с использованием токсичных веществ труд по нанесению и восстановлению защитных покрытий, ремонту прокорродировавших оборудования, конструкций, коммуникаций; создание (в результате коррозии технологического оборудования, конструкций, коммуникаций) некомфортных условий труда работающих, связанных с опасностью отравлений и профзаболеваний.

Технические аспекты коррозии

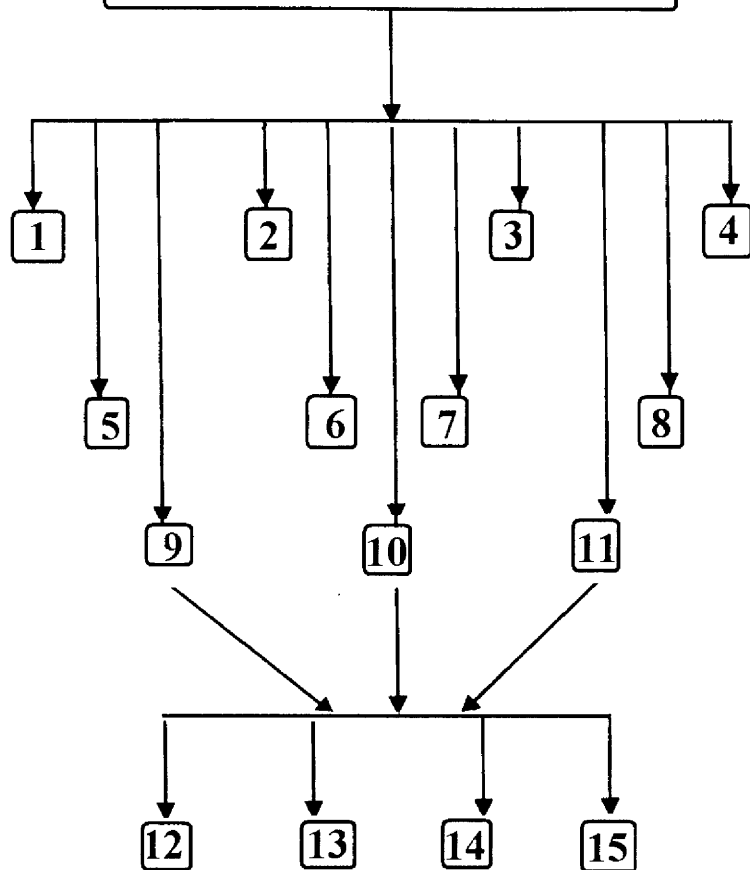


Рис. 17. Технические аспекты коррозии: 1 - безвозвратные потери металлов в результате коррозии; 2 - невозможность освоения новых эффективных технологических процессов из-за отсутствия достаточно коррозионностойких материалов для их аппаратного оформления; 3 - потери продукции в результате сквозных коррозионных поражений стенок; 4 - брак и снижение качества продукции в результате загрязнения её продуктами коррозии; 5 - потери мощности оборудования в результате коррозии; 6 - простои оборудования по причине коррозионных разрушений; 7 - дополнительный расход металла с учетом коррозии (припуск по толщине); 8 - преждевременный выход оборудования из строя по причине коррозии; затраты: 9 - энергии, 10 - сырья и материалов; 11 - трудозатраты; 12 - на замену и ремонт проржавевшего оборудования, коммуникаций, зданий; 13 - на добычу руды, получение и обработку дополнительного количества металлов взамен проржавевшего; 14 - на осуществление контроля коррозии; 15 - на поддержание коррозионной защиты в период эксплуатации основных фондов.

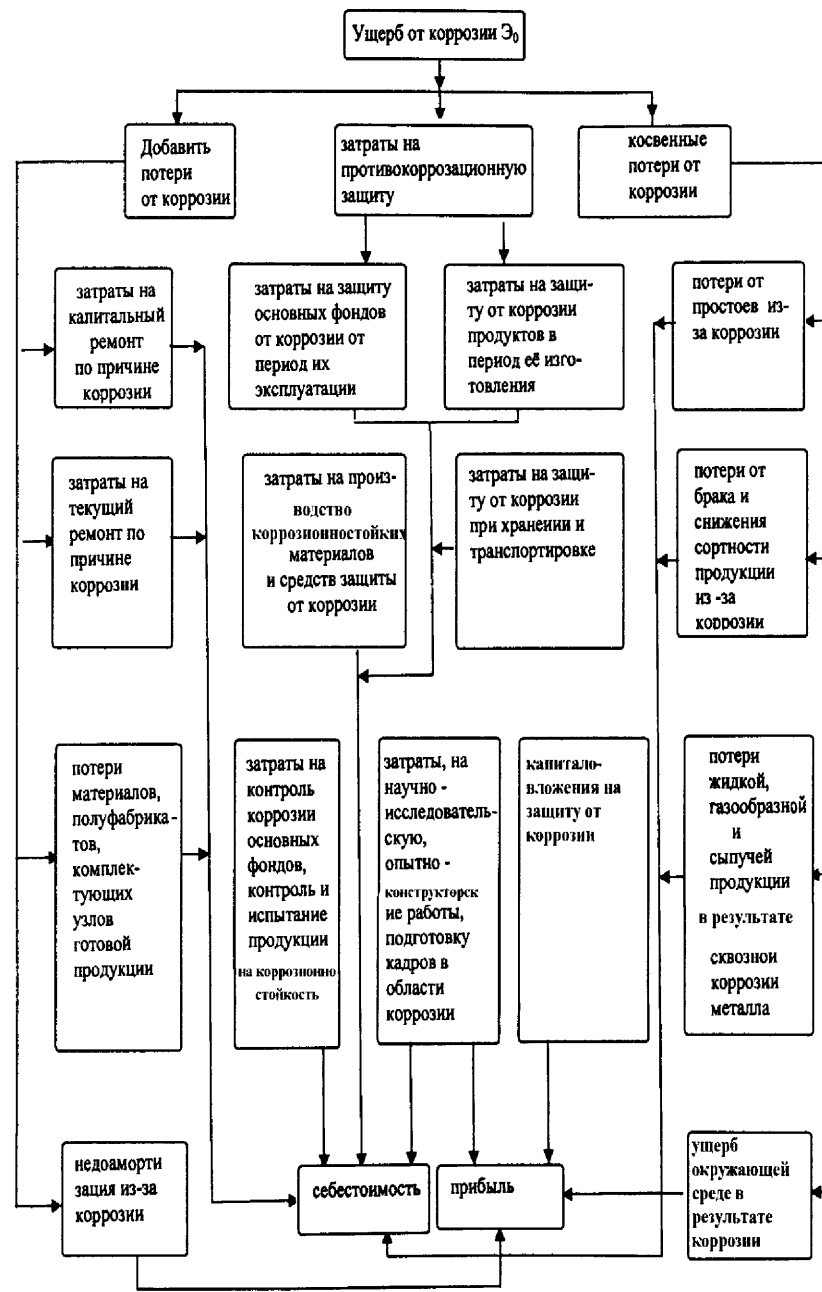


Рис. 18. Экономические аспекты коррозии

Экологические аспекты коррозии

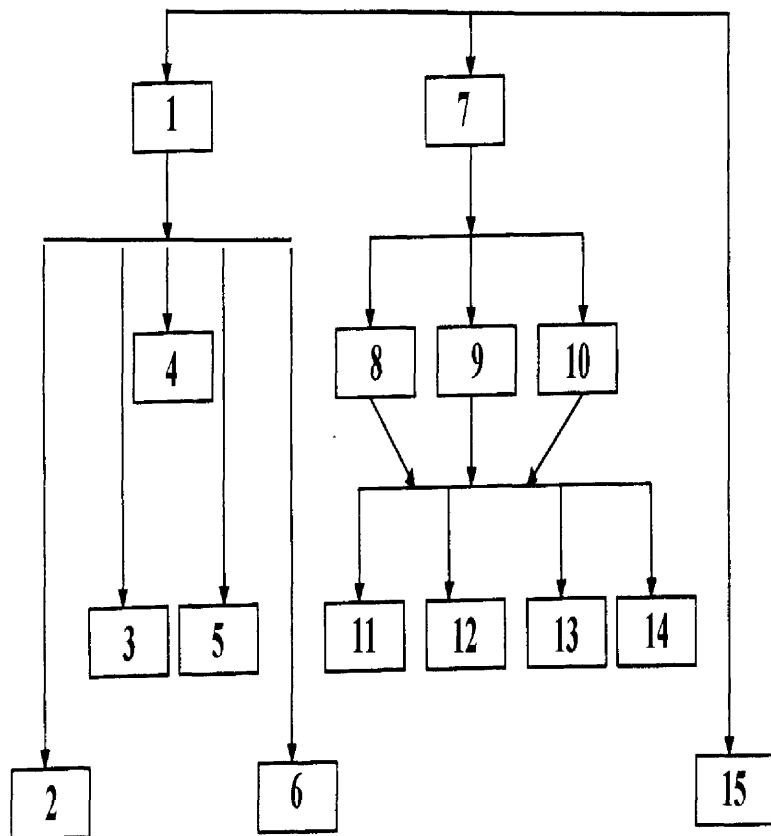


Рис. 19. Экологические аспекты коррозии металлов: 1 - истощение в природе запасов; 2 - металлических руд, 3 - нефти, 4 - угля, 5 - воды, 6 - других полезных ископаемых вследствие расхода их на получение металла взамен безвозвратно распыленного в виде продуктов коррозии; 7 - неизбежные загрязнения: 8 - атмосферы, 9 - природных вод, 10 - почвы, 11 - продуктами коррозии, 12 - при добыче руд, получении и обработке дополнительного количества металлов взамен безвозвратно потерянных из-за коррозии, 13 - при коррозионных повреждениях технологического оборудования и коммуникация, 14 - при проведении противокоррозионной защиты, 15 - безвозвратное распыление металла в виде продуктов коррозии

Социальные аспекты коррозии



Рис. 20. Социальные аспекты коррозии: 1 - аварии по причине коррозии, в том числе о человеческими жертвами; 2 - малопrestижный, трудоемкий, ручной, связанный с использованием токсичных веществ труд по нанесению и восстановлению защитных покрытий, ремонту проржавевших оборудования, конструкций, коммуникаций; 3 - создание (в результате коррозии технологического оборудования, конструкций, коммуникаций) некомфортных условия труда работающих, связанных с опасностью отравлений и профзаболеваний.

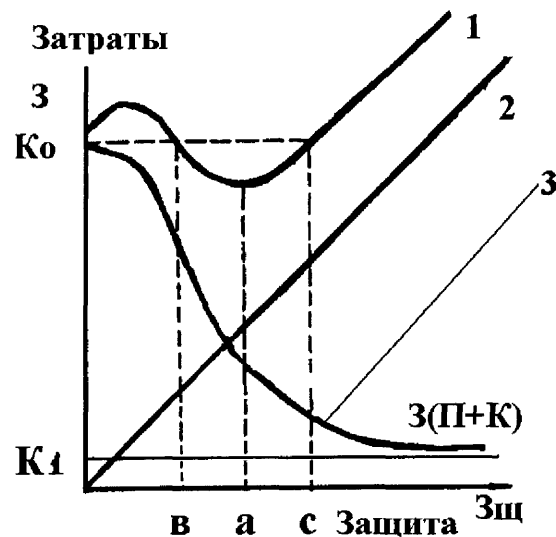


Рис. 21. Оптимизация противокоррозионной техники: 3 - ущерб от коррозии; $Z_{щ}$ - затраты на защиту, П - прямые потери от коррозии; К - косвенные потери от коррозии; K_0 - ущерб от коррозии в исходном состоянии (при $Z_{щ}=0$); K_1 - Уровень минимально возможных прямых и косвенных потерь; кривые: 1 - общий закон изменения эффективности технических систем; 2 - затраты на защиту, 3 - ущерб от коррозии

ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ИДЕАЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ.

Типы кристаллических решеток

Металлы и их сплавы, углеродные материалы, часть полимеров, материалов силикатной промышленности - это кристаллические вещества, для них характерно правильное, периодическое расположение атомов в пространстве. В кристалле атомы расположены в строго определенном порядке и образуют, так называемую, «пространственную решетку». Расположение атомов в кристалле условно можно изображать в виде, так называемых, «элементарных кристаллических ячеек», многократным повторением которых можно воспроизвести пространственную кристаллическую решетку. Расстояние между атомами в кристаллической решетке называют «параметрами решетки» или «ребрами» и обозначают a , b , c (рис. 22). Углы между направлениями пространственных осей в решетке обозначают α , β и γ . Виды элементарных кристаллических систем приведены в табл. 14.

Таблица 14.

Типы элементарных кристаллических решеток

№	Система	Ребра	Углы
1	Триклинная	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$
2	Моноклинная	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$
3	Ромбическая	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4	Ромбоэдрическая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
5	Гексагональная	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
6	Тетрагональная	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
7	Кубическая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Для идеальных кристаллов характерно явление анизотропии, т. е. векториальность свойств кристалла по разным кристаллографическим на-

правлениям. В технике анизотропия особенно важна при использовании монокристаллов. Материалы, затвердевшие в обычных условиях, состоят не из одного кристалла, а из множества маленьких кристаллов (кристаллитов), различно ориентированных по отношению друг к другу. Поэтому свойства такого материала приблизительно одинаковы во всех направлениях, такое явление принято называть квазиизотропностью.

Металлы легко вступают во взаимодействие с неметаллами, отдавая валентные электроны, так как у металлов все валентные электроны прочно связаны с ядром и количество их невелико.

Эти же свойства металла лежат и в основе электропроводности. Электроны, заряженные отрицательно, создают ничтожную разность потенциалов, что обеспечивает их перемещение к положительно заряженному полюсу и тем самым - появление электрического тока. Слабая связь валентных электронов с ядром определяет физические и химические свойства металлов. Металлы, как правило, хорошо проводят электричество и теплоту, обладают характерным металлическим блеском, непрозрачны, пластичны. Такими же свойствами обладают и металлические сплавы—более сложные вещества, состоящие из нескольких элементов, как металлов, так и неметаллов. Все металлы условно подразделяют на черные и цветные.

Для металлов характерным свойством является анизотропия, т. е. неодинаковость свойства кристалла в разных кристаллографических направлениях. Объясняется это тем, что кристаллические плоскости a и b (рис. 26), например, в кубической объемноцентрированной решетке заполнены атомами с различной плотностью. К черным металлам относят железо и сплавы на основе железа. К цветным металлам относят медь, никель, цинк, свинец, алюминий, магний, титан и др. Расположение атомов в кристалле условно можно изображать различными схемами, но чаще всего в виде пространственных, так называемых, «элементарных кристаллических ячеек», многократным повторением которых можно воспроизвести пространственную кристаллическую решетку. Расстояние между атомами в кристаллической решетке называют параметрами решетки и обозначают a и c (рис. 24,25). Они измеряются в ангстремах Å ($1\text{Å} = 10^{-8}$ см). Простейшей элементарной кристаллической решеткой является простая кубическая решетка с параметром a (рис. 24). Для металлов наиболее распространены типы кристаллических решеток (рис. 27, а - в): a — кубическая объемноцентрированная, которую имеют W, Mo, V, Cr, Fe α ; b — кубическая гранецентрированная, которую имеют Pb, γ - Fe, Al, Cu, Ni; c — гексагональная плотноупакованная, которую имеют Ti, Mg, Zn, Be. В этих решетках каждый атом окружен максимальным геометрически допустимым числом атомов, соответствующим плотнейшей упаковке шаров одного и того же размера. Некоторые металлы, например олово, индий, галлий, имеют тетрагональную решетку с параметрами a и c (рис. 25), которая в зависимости от расположения атомов в пространстве (как кубическая) может быть простой, объемно - и гранецентрированной.

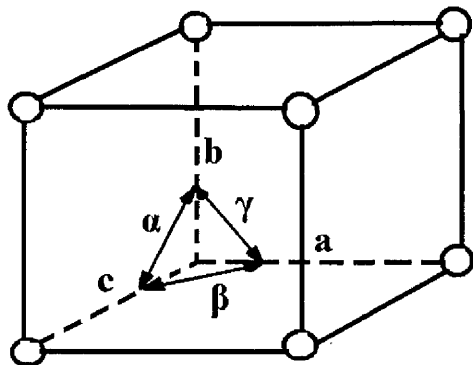


Рис. 22 Параметры элементарной кристаллической ячейки

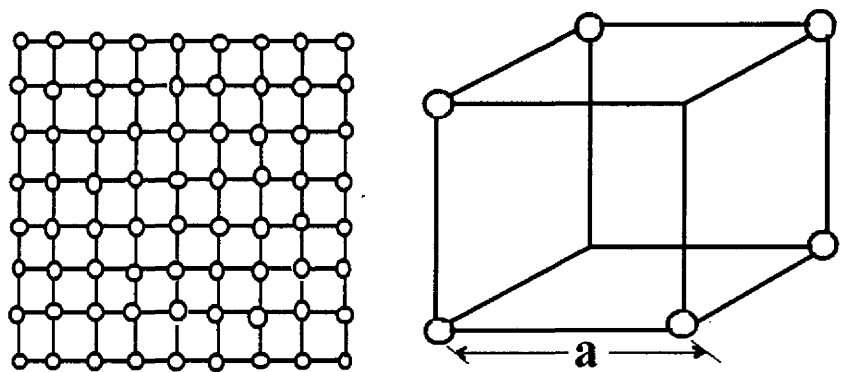


Рис. 23. Расположение атомов в кристаллографической плоскости

Рис. 24. Простая элементарная кубическая решетка

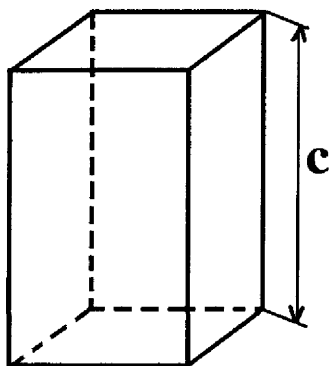


Рис. 25. Простая тетрагональная решетка

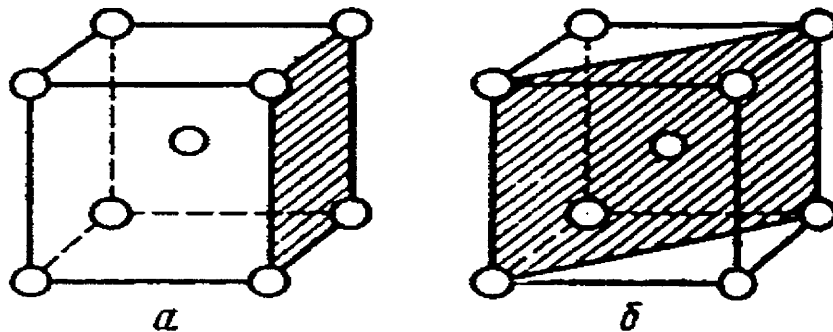


Рис. 26. Кристаллические плоскости в кубической объемноцентрированной решетке

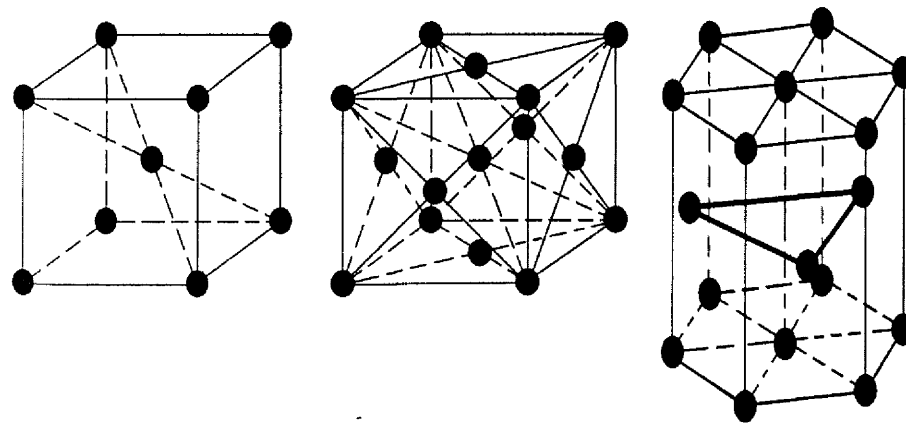
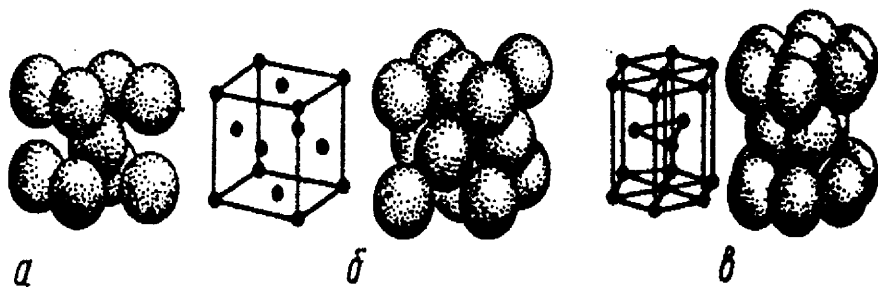


Рис. 27. Элементарные кристаллические решетки чистых металлов: а - объемноцентрированная; б - гранецентрированная; в - гексагональная плотноупакованная

РЕАЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Дефекты в кристаллах:

- точечные, линейные, поверхностные

Точечные:

- вакансии
- межузельные атомы
- примесные (чужеродные) атомы

Линейные:

- краевые дислокации
- винтовые дислокации

Поверхностные:

- границы зерен
- границы субзерен
- дефекты упаковки

В реальных кристаллах всегда имеются дефекты (несовершенства) строения, обусловленные нарушением правильного расположения атомов кристаллической решетки. Дефекты кристаллического строения подразделяют по геометрическим признакам на точечные, линейные и поверхностные.

Точечные дефекты. Атомы совершают колебательные движения возле узлов решетки, с повышением температуры амплитуда этих колебаний увеличивается. Большинство атомов данной кристаллической решетки имеют одинаковую (среднюю) энергию и колеблются при данной температуре с одинаковой амплитудой. Однако отдельные атомы обладают энергией значительно большей средней и перемещаются из одного места в другое. Наиболее легко перемещаются атомы поверхностного слоя, выходя на поверхность. Ставшее незаполненным место, где находился такой атом, называется *вакансией* (рис. 28, В, рис. 29, а). На это место через некоторое время перемещается один из атомов соседнего слоя и т. д. Таким образом, вакансии перемещаются в глубь кристалла. С повышением температуры количество вакансий увеличивается, и они чаще перемещаются из одного узла в другой. В диффузионных процессах, протекающих в металлах, вакансии играют определяющую роль. К *точечным дефектам* относят также атом, внедренный в междоузлие кристаллической решетки (рис. 28, С, рис. 31), и замещенный атом, когда место атома одного металла замещается в кристаллической ре-

шетке другим - чужеродным атомом (рис. 28, D, рис. 30). Точечные дефекты вызывают местное искажение кристаллической решетки.

Линейные дефекты являются другим важнейшим видом несовершенства кристаллической решетки, когда в результате сдвига на одно межатомное расстояние одной части решетки относительно другой (вдоль какой-либо плоскости), число рядов атомов в верхней части решетки на один больше, чем в нижней. В данном случае в верхней части решетки появляется как бы лишняя атомная полуплоскость (экстра-плоскость). Край экстра-плоскости, перпендикулярный направлению сдвига, называется *краевой* или *линейной дислокацией* (рис. 28), длина которой может достигать многих тысяч межатомных расстояний. Ширина дислокации мала и составляет несколько атомных расстояний. Кристаллическая решетка в зоне дислокаций упруго искажена, поскольку атомы в этой зоне смещены относительно их равновесного состояния. Для дислокаций характерна их легкая подвижность. Это объясняется тем, что атомы, образующие дислокацию, стремятся переместиться в равновесное состояние. Дислокации образуются в процессе кристаллизации металлов, а также при пластической деформации, термической обработке и других процессах.

Поверхностные дефекты представляют собой границы раздела между отдельными кристаллами. На границе раздела атомы расположены менее правильно, чем в его объеме. Кроме того, по границам раздела скапливаются дислокации и вакансии, а также концентрируются примеси, что еще больше нарушает порядок расположения атомов. При этом сами кристаллы разориентированы, т. е. могут быть повернуты относительно друг друга на десятки градусов. Дефект упаковки – нарушение нормального порядка чередования атомных слоев атомной плоскости. Прочность металла может либо увеличиваться вследствие искажений кристаллической решетки вблизи границ, либо уменьшаться из-за наличия примесей и концентрации дефектов. Дефекты в кристаллах существенно влияют на свойства металлов. На основе теории дислокаций объяснена связь между пластичностью стали и плотностью дислокаций (рис. 39) и выработаны промышленные приемы упрочнения железо – углеродных сплавов.

ОСНОВЫ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Переход из жидкого состояния в твердое (кристаллическое) называют кристаллизацией (рис. 33). Процессы кристаллизации зависят от температуры и протекают во времени, поэтому кривые охлаждения строятся в координатах «температура – время» (рис. 34, 40). Теоретический, т.е. идеальный, процесс кристаллизации металла без переохлаждения протекает при температуре T_s . При достижении идеальной температуры затвердевания T_s падение температуры прекращается, так как перегруппировка атомов при формировании кристаллической решетки идет с выделением тепла (за счет скрытой теплоты кристаллизации). Каждый чистый металл (не сплав) кри-

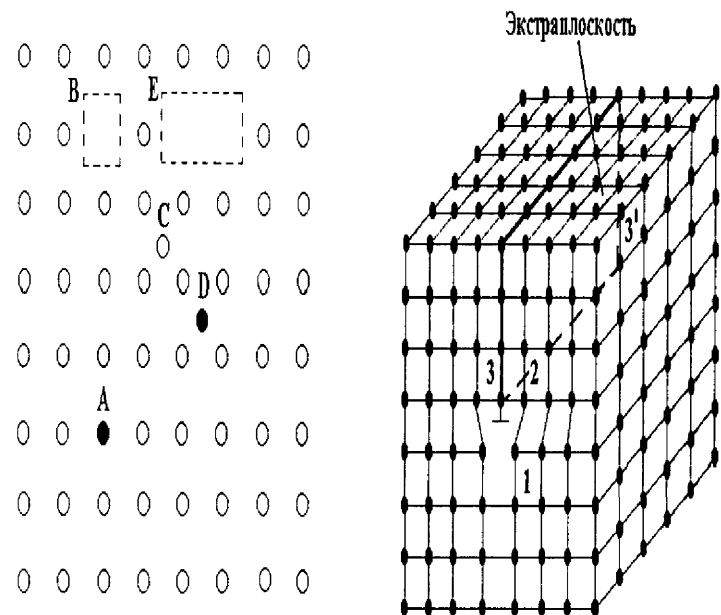
сталлизуется при строго индивидуальной постоянной температуре. По окончании затвердевания металла температура его снова понижается.

Практически кристаллизация протекает при более низкой температуре, т.е. при переохлаждении металла до температур T_p, T_{p1}, T_{p2} , (например, рис. 34, кривые 1, 2). Степень переохлаждения ($\Delta T = T_s - T_p$) зависит от природы и чистоты металла, а также - от скорости охлаждения. Чем чище жидкий металл, тем он более склонен к переохлаждению. При увеличении скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает, а зерна металла становятся мельче, что улучшает его качество. Для большинства металлов степень переохлаждения при кристаллизации в производственных условиях составляет от 10 до 30°C. При больших скоростях охлаждения она может достигать сотен градусов.

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий: зарождения кристаллов (зародышей, или центров кристаллизации) и роста кристаллов из этих центров. При переохлаждении сплава ниже T_p на многих участках жидкого металла образуются способные к росту кристаллические зародыши. Сначала образовавшиеся кристаллы растут свободно и имеют более или менее правильную геометрическую форму (рис.35, в, г, д). При соприкосновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается, так как в этих участках рост граней прекращается. Рост кристалла продолжается только в тех направлениях, где есть свободный доступ жидкого металла. В результате кристаллы, имевшие сначала геометрически правильную форму, после затвердевания получают неправильную форму, их называют *кристаллитами* или *зернами* (рис 35, е).

Величина зерен зависит от числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов. Чем больше центров кристаллизации, тем мельче зерно металла. Величина зерен, образующихся при кристаллизации, зависит от количества самопроизвольно зарождающихся центров кристаллизации и от количества нерастворимых примесей, всегда имеющих в жидком металле. Такие нерастворимые примеси являются готовыми центрами кристаллизации. Ими являются оксиды (например, Al_2O_3), нитриды, сульфиды и другие соединения. Центрами кристаллизации в данном металле или сплаве могут быть только такие твердые частицы, которые по размеру соизмеримы с атомами основного металла. Кристаллическая решетка таких твердых частиц должна быть близка по своему строению и параметрам решетке кристаллизующегося металла. Чем больше таких частиц, тем мельче будут зерна закристаллизовавшегося металла. Чем выше скорость охлаждения, тем больше возникает центров кристаллизации и, следовательно, мельче зерно металла.

Чтобы получить мелкое зерно, создают искусственные центры кристаллизации. Для этого в расплавленный металл (расплав) вводят специальные вещества - модификаторы. Так, при модифицировании магниевых сплавов зерно уменьшается от 0,2—0,3 до 0,01-0,02 мм, т.е. в 15-20 раз. Модифицирование отливок проводят и введением в расплав добавок, образующих тугоплавкие соединения (карбиды, оксиды). При модифицировании, например, стали применяют алюминий, титан, ванадий, а для модифицирования алюминиевых сплавов - марганец, титан, ванадий. Иногда в качестве модификаторов применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Они растворяются в жидком металле. Эти модификаторы осаждаются на поверхности растущих кристаллов, образуя очень тонкий слой, который препятствует дальнейшему росту кристаллов, придавая металлу мелкозернистое строение.



А - примесный атом замещения, В - вакансия, С - межузельный атом, D - примесный атом внедрения, Е - дивакансия

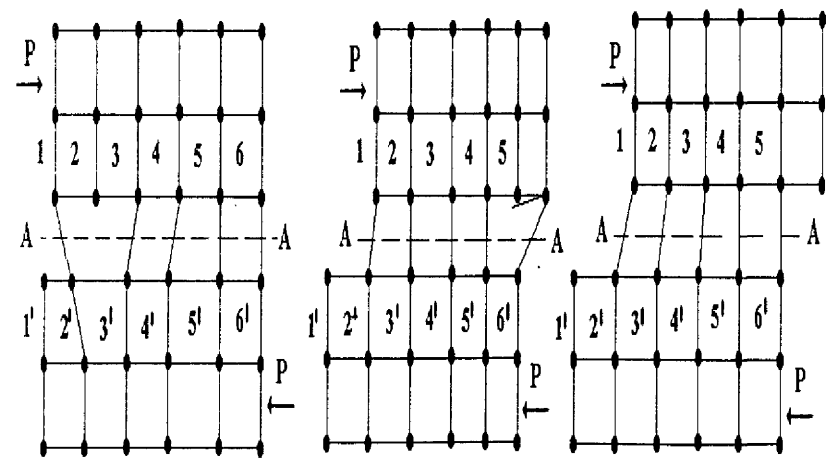


Рис. 28. Виды дефектов кристаллической структуры и фазы дислокационной схемы пластического сдвига: А - примесный атом замещения, В - вакансия, С - межузельный атом, D - примесный атом внедрения, Е - дивакансия

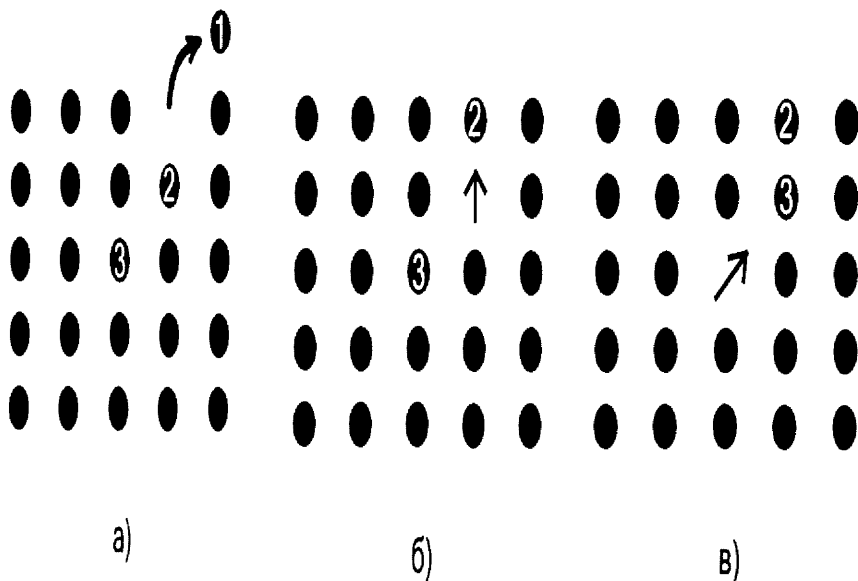


Рис. 29. Схема образования (а) и миграции (б, в) вакансии

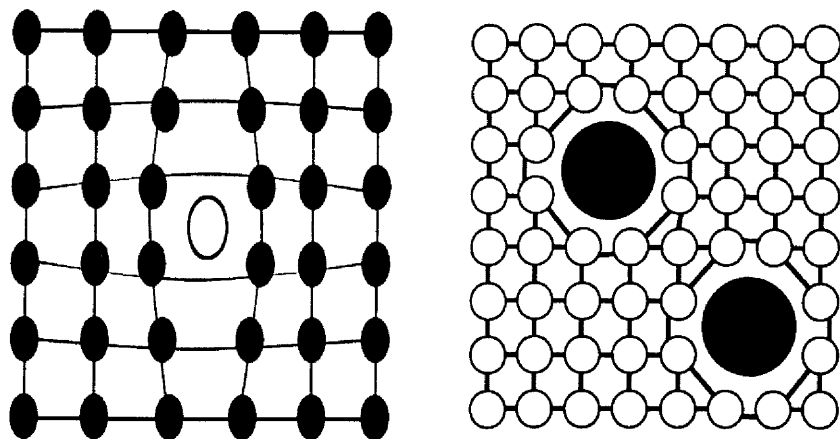


Рис. 30. Примесные (чужеродные) атомы

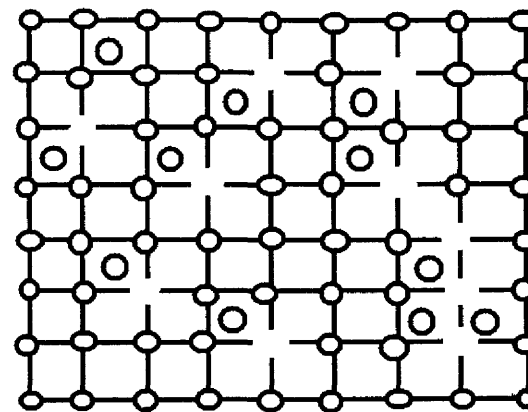


Рис. 31. Межузельные атомы

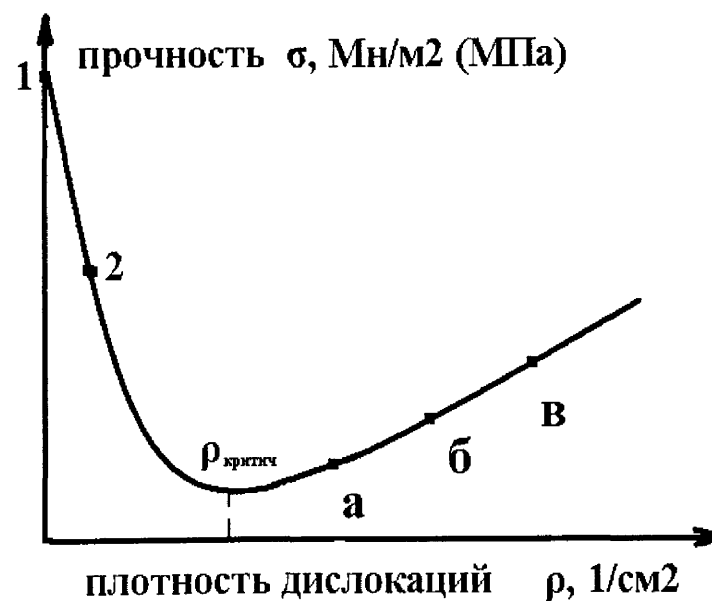


Рис. 32. Влияние плотности дислокаций на прочностные свойства материалов: 1 - теоретическая прочность железа (20 000 МПа), 2 - монокристалл (14 000 МПа), 3 - отожженный металл (250 - 300 МПа), а - закаленная сталь, б - сталь после термической обработки, в - мартенситостареющая сталь

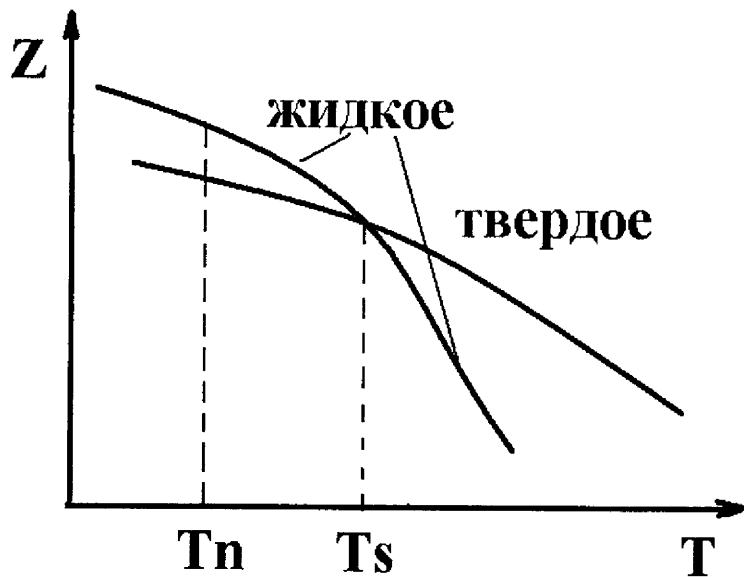


Рис. 33. Зависимость потенциальной энергии твердого и жидкого состояния вещества от температуры

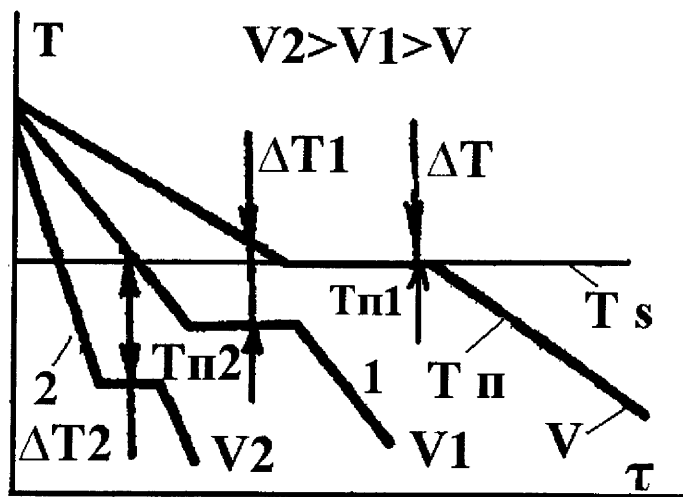
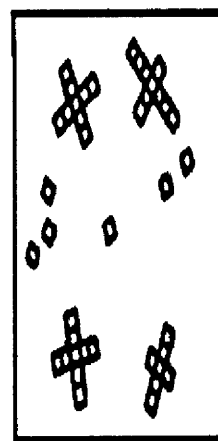
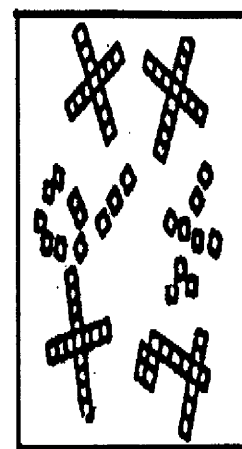


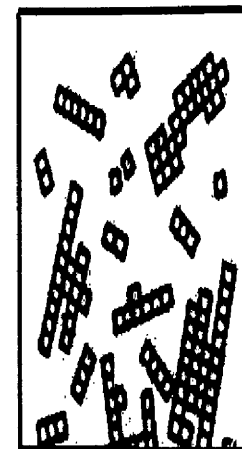
Рис. 34. Кривые кристаллизации металла при охлаждении с разной скоростью



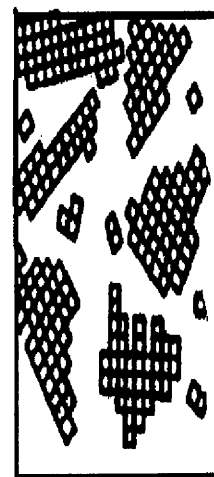
а



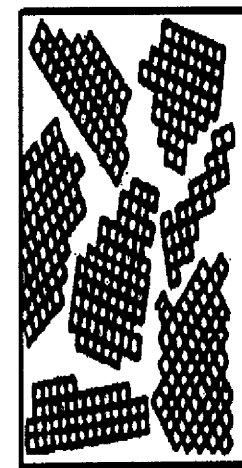
б



в



г



д



е

Рис. 35. Этапы процесса кристаллизации (а - е): а - жидкое состояние с образованием неустойчивых группировок атомов (зародышей, или центров кристаллизации); е - твердое закристаллизованное состояние

СТРОЕНИЕ И ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА

Строение металлического слитка

Форма растущих кристаллов определяется не только условиями их касания друг с другом, но и составом сплава, наличием примесей и режимом охлаждения. Обычно механизм образования кристаллов носит *дендритный* (древовидный) характер (рис. 36). Дендритная кристаллизация характеризуется тем, что рост зародышей происходит с неравномерной скоростью. После образования зародышей их развитие идет в тех плоскостях и направлениях решетки, имеющих наибольшую плотность упаковки атомов и минимальное расстояние между ними. В этих направлениях образуются длинные ветви будущего кристалла - так называемые оси первого порядка. В дальнейшем от осей первого порядка начинают расти новые оси — оси второго порядка, от осей второго порядка - оси третьего порядка и т.д. По мере кристаллизации образуются оси более высокого порядка, которые постепенно заполняют все промежутки, ранее занятые жидким металлом.

Получение слитка в металлических изложницах и устройствах непрерывной разливки стали

Реальный процесс получения стального слитка. Стальные слитки получают охлаждением в металлических формах (изложницах) или на установках непрерывной разливки. В изложнице сталь не может затвердеть одновременно во всем объеме из-за невозможности создания равномерной скорости отвода тепла. Поэтому процесс кристаллизации стали начинается у холодных стенок и дна изложницы, а затем распространяется внутрь жидкого металла.

Металлические формы (изложницы). При соприкосновении жидкого металла со стенками изложницы (рис. 37) в начальный момент образуется зона (2) мелких равноосных кристаллов. Так как объем твердого металла меньше жидкого, между стенкой изложницы и застывшим металлом образуется воздушная прослойка и сама стенка нагревается от соприкосновения с металлом. Поэтому скорость охлаждения металла снижается, и кристаллы растут в направлении отвода теплоты. При этом образуется зона 3, состоящая из древовидных или столбчатых кристаллов. Во внутренней зоне слитка (4) образуются равноосные, неориентированные кристаллы больших размеров в результате замедленного охлаждения. В верхней части слитка, которая затвердевает в последнюю очередь, образуется усадочная раковина 6 вслед-

ствие уменьшения объема металла при охлаждении. Под усадочной раковиной металл в зоне 5 получается рыхлым из-за большого количества усадочных пор. Для получения изделий используют только часть слитка, удаляя усадочную раковину и рыхлый металл слитка для последующего переплава. Слиток имеет неоднородный химический состав, который тем больше, чем крупнее слиток. Например, в стальном слитке концентрация серы и фосфора увеличивается от поверхности к центру и снизу вверх. Химическую неоднородность по отдельным зонам слитка называют *зональной ликвацией*. Она отрицательно влияет на механические свойства металла и, в отличие от внутрикристаллической ликвации, не устраняется термической обработкой. Верхняя и нижняя часть слитка (около 20-25% от массы отливки) отрезается и идет в переплав.

Устройство непрерывной разливки стали (рис. 38) во многом снимает недостатки получения слитка в металлической изложнице. Жидкую сталь из ковша (1) через промежуточное разливное устройство (2) непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна — кристаллизатор, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток (4). Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку, образующую его дно. Жидкий металл попадая в кристаллизатор на затравку, охлаждается и затвердевает, образуя корку. Затравка тянущими валиками (5) вытягивается из кристаллизатора вместе с затвердевающим слитком с полужидкой сердцевиной. Скорость вытягивания слитка из кристаллизатора (порядка 1 м в минуту) регулируется и зависит от его сечения. На выходе из кристаллизатора (3) слиток охлаждается водой в зоне вторичной кристаллизации при помощи разбрызгивающих форсунок (6). Отсюда слиток (полностью затвердевший) попадает в зону резки, где разрезается с помощью газового резака на заготовки требуемой длины.

Для предотвращения приваривания слитка к стенкам кристаллизатора он совершает возвратно-поступательные движения с шагом 10-50 мм и частотой 10-100 циклов в минуту. Вследствие направленного затвердевания и непрерывного питания при усадке в слитках отсутствуют усадочные раковины. Они имеют качественную поверхность, плотное строение и мелкозернистую структуру. Выход годных заготовок достигает 96-98% от массы разливаемой стали

БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ

Строение и свойства сложных фаз

Твердые кристаллические фазы:

- Двухфазные и многофазные

- Сложные кристаллические фазы

Сложные кристаллические фазы:

- Твердые растворы
- Промежуточные фазы

Твердые растворы:

- Замещения
- Внедрения

Промежуточные фазы:

- структуры вычитания (твердые растворы вычитания)
- постоянного состава
- переменного состава

Основные виды диаграмм состояния бинарных металлических систем:

- Системы с взаимно нерастворимыми компонентами в твердом состоянии (механическая смесь с эвтектикой)
- Системы с ограниченной растворимостью
- Системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии: 1 типа, 2 типа (с максимумом), 3 типа (с минимумом)
- Системы с образованием химического соединения

Чистые металлы характеризуются относительно низким пределом прочности, поэтому в машиностроении применяют главным образом их сплавы. Металлическим сплавом называют сложное вещество, полученное сплавлением (или спеканием) нескольких металлов или металлов с неметаллами. Например, очень мягкая медь с добавлением олова превращается в более твердую бронзу. При этом улучшаются эксплуатационные и технологические свойства металлического материала.

Компоненты - вещества, образующие *систему*. Чистый металл представляет собой однокомпонентную систему, сплав двух металлов - двухкомпонентную систему и т.д. Компонентами могут быть металлы и неметаллы, а также устойчивые, т.е. не диссоциирующие на составные части в рассматриваемых интервалах температур вещества - химические соединения. Так, например, для цветных металлических сплавов компонентами могут быть металлы (например, медь с цинком образует латунь), а для черных — метал-

лы с небольшим содержанием неметаллов (железо с углеродом — чугун, сталь).

Фаза - однородная часть системы, имеющая одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние и отделенная от остальных частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяются скачкообразно.

Система - совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (давлении, температуре). Например, однородная жидкость (расплавленный металл) является однофазной системой, при кристаллизации чистого металла система состоит из двух фаз: жидкой (расплавленный металл) и твердой (зерна закристаллизовавшегося металла). Другой пример: механическая смесь двух видов кристаллов образует двухфазную систему, так как каждый кристалл отличается по составу или строению и отделен один от другого поверхностью раздела. Сплав называют однородным (гомогенным), если его структура однофазна, и разнородным (гетерогенным), если его структура состоит из нескольких фаз.

Структура сплава - видимое в микроскоп взаимное расположение фаз, их форма и размеры. Компоненты в сплавах могут составлять жидкие и твердые растворы, химические соединения и механические смеси (рис. 41).

Однородные жидкие растворы (рис. 41, а) характерны почти для всех металлов, растворяющихся друг в друге в жидком состоянии в любых соотношениях. В однородном жидком растворе атомы 1 растворимого металла (компонента) А равномерно распределены среди атомов металла В — растворителя. Лишь немногие металлы растворяются в жидком состоянии ограниченно. И только очень немногие металлы совсем не растворяются друг в друге в жидком состоянии из-за большой разницы в размерах своих атомов. В процессе кристаллизации и затвердевания сплавов взаимодействие компонентов может быть различным.

Твердые растворы (рис. 41, б) образуются в результате перехода в твердое состояние однородных жидких растворов. Отличительная характеристика твердого раствора: одно из веществ, входящих в состав сплава, сохраняет присущую ему кристаллическую решетку (рис. 42), а другое в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого вещества. Твердые растворы бывают двух типов: *твердые растворы замещения* и *твердые растворы внедрения*. Независимо от типа твердые растворы однофазны.

В *твердых растворах замещения* часть атомов в кристаллической решетке одного из компонентов замещена атомами другого (рис. 43). Твердые растворы замещения образуются, например, в сплавах железа с хромом, никелем и с другими элементами. Твердые растворы замещения называют неупорядоченными твердыми растворами, так как атомы растворимого элемента могут замещать атомы растворителя в любых узлах решетки.

В *твердых растворах внедрения* атомы растворенного компонента внедряются в межатомное пространство кристаллической решетки другого

компонента-растворителя (рис. 44). Твердые растворы внедрения образуются, например, в сплавах железа с водородом, бором, азотом.

Твердые растворы замещения (рис. 43) образуются в тех случаях, когда растворяемое вещество и растворитель имеют одинаковую решетку, причем размеры их атомов мало отличаются друг от друга (не более 15%). Размеры атомов растворяемого вещества влияют на параметр решетки, увеличивая ее, если диаметр атома больше, или уменьшая ее, если он меньше. Атомы растворяемого вещества могут занимать в кристаллической решетке растворителя строго определенное положение (упорядоченные твердые растворы) или располагаться в произвольном порядке (неупорядоченные твердые растворы).

При образовании *твердых растворов внедрения* (рис. 44) атомы растворенного элемента внедряются в решетку растворителя в промежутках между атомами растворителя. Это возможно только в том случае, когда атомы растворяемого элемента по размерам невелики, т. е. когда отношение диаметра атома растворяемого элемента к диаметру атома растворителя меньше 0,59. Как правило, твердые растворы внедрения образуются с неметаллами, причем параметры кристаллической решетки всегда увеличиваются.

Промежуточные фазы — сложные кристаллические фазы, не относящиеся к твердым растворам. Отличительная черта промежуточных фаз: их кристаллическая структура отлична от структур составляющих их компонентов. *Структуры вычитания*, или *твердые растворы вычитания* (рис. 45) могут образовываться только в сплавах, содержащих химические соединения, когда избыточные атомы одного из компонентов занимают строго определенное положение в кристаллической решетке, а места, которые должны быть заняты атомами другого компонента, остаются частично свободными, например в решетках карбидов TiC, WC (места, принадлежащие углероду, остаются свободными). Растворы вычитания часто встречаются в полупроводниковых соединениях.

Помимо указанных типов сплавов металлы образуют электронные соединения и фазы внедрения. Электронные соединения характеризуются определенным соотношением числа валентных электронов к общему числу атомов в химическом соединении, например, в соединении Cu Zn₃ указанное отношение будет равно 7/4. Каждому такому соотношению соответствует определенная кристаллическая решетка, например, отношению 3/2 — решетка гранцентрированного куба; 21/13 — сложная кубическая решетка; 7/4 — гексагональная плотноупакованная решетка. Сплавы меди с цинком, меди с оловом, меди с кремнием, железа с алюминием и т. д. содержат в своем составе электронные соединения. Фазы внедрения могут образовывать атомы железа, хрома, вольфрама, молибдена с элементами, имеющими малый атомный диаметр, например водородом, углеродом, азотом, бором. Они имеют свою кристаллическую решетку, отличающуюся от решетки обеих фаз. Фазы внедрения могут быть трех типов: MeX (WC, VC, TiN и др.); Me₂X (W₂C, Fe₂N и др.); Me₄X (Fe₄C и др.).

Химическое соединение (рис. 41, в) образуется при сплавлении различных металлов или металла с неметаллом. Соотношение чисел атомов элементов химического соединения может быть выражено формулой вида A_nB_m. Химическое соединение — однородное кристаллическое тело, имеет кристаллическую решетку с упорядоченным расположением атомов, которая отлична от решеток элементов, образующих это соединение. Химические соединения, подобно чистым металлам, имеют постоянную температуру плавления и, как правило, обладают большой твердостью и значительной хрупкостью.

Механическая смесь (рис. 41, г) двух компонентов А и В образуется тогда, когда при кристаллизации компоненты сплава не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения. Механическая смесь может состоять из зерен двух насыщенных твердых растворов или зерен твердого раствора и химического соединения. В этом случае сплав состоит из кристаллов А и В, которые выявляются на микроструктуре. Температуры, при которых изменяется строение металлов и сплавов, принято называть «*критические точки*». При плавлении и затвердевании чистые металлы имеют одну критическую точку, а сплавы — две. В интервале между этими точками в сплавах существуют две фазы — жидкий сплав и кристаллы.

Диаграммы состояния сплавов

Диаграмма состояния. Состояние сплава в зависимости от концентрации и температуры изображают графически. Такое изображение состояния сплава получило название диаграмм состояния. Диаграмма состояния показывает устойчивое состояние системы (совокупность фаз, находящихся в равновесии), то есть она является диаграммой равновесия фаз, существующих при данных условиях. Состояние сплава, изображенного на диаграмме, относится к равновесным условиям без учета перегрева или переохлаждения, чего в действительности быть не может. Следовательно, рассматриваемые диаграммы состояния представляют собой теоретический случай.

Правило фаз Гиббса — математическое описание общих закономерностей существования устойчивых фаз, отвечающих условиям равновесия. Оно устанавливает количественную зависимость между *степенью свободы системы С, количеством фаз Ф и компонентами К.*

Число степеней свободы системы — число факторов (температура, концентрация, давление), которые можно изменять без изменения числа фаз в системе. Математическое выражение правила фаз можно записать в следующем виде:

$$C = K - F + 2,$$

т. е. число степеней свободы равновесной системы, на которую влияют температура и давление, равно числу независимых компонентов системы, минус число фаз, плюс два. Давление при равновесии не оказывает влияния на процессы превращения в сплавах, поэтому при изучении систем под атмосферным давлением можно пользоваться правилом фаз в следующем виде:

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

Рассмотрим применение правила фаз для некоторых систем. Например, есть однокомпонентная система ($K=1$) в расплавленном состоянии ($\Phi=1$). Требуется определить число степеней свободы:

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

Таким образом, для металла в жидком состоянии число степеней свободы равно единице, а это означает, что изменять можно только температуру расплава, чтобы при этом не изменить агрегатное состояние системы.

При кристаллизации металла число фаз равно двум (жидкая и твердая), а число степеней свободы будет равно нулю ($C=1-2+1=0$). Это значит, что нельзя менять температуру и концентрацию системы без нарушения равновесия и изменения числа фаз до тех пор, пока не пропадет одна из фаз и система не превратится в однофазную.

Диаграммы состояния показывают изменение состояния сплавов от температуры и концентрации при постоянном давлении. Для двухкомпонентной системы по оси абсцисс откладывают концентрацию, равную для обоих компонентов 100%, а по оси ординат — температуру. Их строят по данным термического анализа, т. е. сначала строятся кривые охлаждения в координатах «температура — время», по которым определяют температуры превращений по остановкам и перегибам на этих кривых. Кривые охлаждения строятся для нескольких составов сплава. Зная температуры кристаллизации двух компонентов, остановки температур и перегибы на кривых температура — время, строится диаграмма состояния двухкомпонентного сплава «температура — состав» (рис. 46-68).

Построение кривых охлаждения. Термический метод анализа. Для определения температуры плавления металла или сплава, выяснения процессов кристаллизации применяют термический метод анализа. В огнеупорный тигель 5 (рис. 39), содержащий расплавленный металл 4, погружают термопару 3 (две сваренные с одного конца проволоки из разных металлов), свободные концы которой присоединяют к гальванометру 2. При нагревании сваренного конца термопары, т. е. при разнице температур горячего спая и двух холодных концов, в ней возникает термо-э.д.с., ток которой пропорционален температуре металла, и стрелка гальванометра, отклоняясь, будет показывать температуру металла по градуированной шкале 1 гальванометра. Если охлаждать расплавленный металл и измерять по гальванометру температуру, записывая её изменение через определенные промежутки вре-

мени, можно построить кривые охлаждения металла в координатах «температура—время».

Металлы в зависимости от условий (температуры, давления) могут находиться в трех состояниях: газообразном, жидком и твердом. Химически чистые металлы при нагревании переходят в жидкое состояние при строго определенной температуре, называемой температурой плавления, а из жидкого — в газообразное (парообразное) при температуре, называемой температурой кипения.

Температуры плавления металлов различны и колеблются от $-38,9$ °С (для ртути), до $+3410$ °С (для вольфрама).

Как было показано выше, образование кристаллической решетки происходит при переходе металла из жидкого состояния в твердое. В идеальных условиях в результате такого перехода атомы располагаются по геометрически правильной схеме, на определенном расстоянии друг от друга, образуя кристаллическую решетку. Например, очень медленным охлаждением при кристаллизации (или другими методами) можно получать монокристаллы (единичные кристаллы) массой до 200 г и более, которые применяются в полупроводниковой и других отраслях техники.

Диаграммы «состав - свойства»

Связь между свойствами сплавов и типами диаграмм состояния (или диаграммы 2состав — свойства») разработаны Н.С. Курнаковым и С.Ф. Жемчужным. На рис. 69 приведено изменение твердости **НВ** и температурного коэффициента электропроводности ρ от состава сплава, содержащего два компонента А и В.

В сплавах типа механической смеси свойства (твердость, электропроводность и т. д.) изменяются в зависимости от состава линейно.

В сплавах твердого раствора свойства изменяются в зависимости от состава по определенным зависимостям, например, твердость **НВ** и температурный коэффициент электропроводности ρ при возрастании концентрации компонента В (рис. 69, а) вначале растут, а затем падают.

В сплавах типа химического соединения свойства (рис. 69, в) выражаются ломаными линиями, и в точке, отвечающей химическому соединению, наблюдается максимум (для твердости) или минимум (для электропроводности).

Из рис. 69 видно, что механические (твердость) и физические (температурный коэффициент электропроводности) свойства зависят от структуры сплава. По этим диаграммам можно определять и технологические свойства сплавов, что облегчает выбор материала для изготовления изделий.

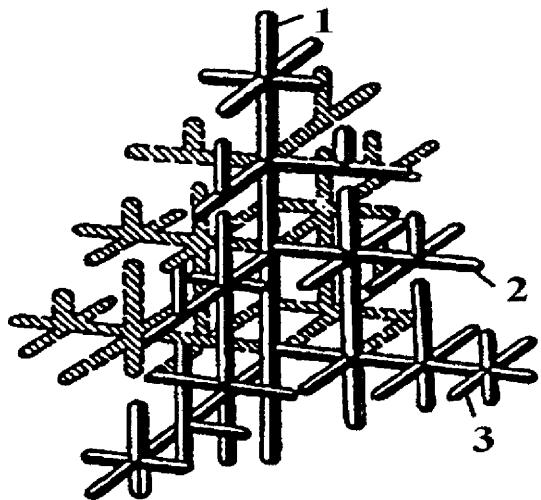


Рис. 36. Реализация дендритного механизма образования кристаллов: 1, 2, 3 – соответственно оси первого, второго и третьего порядка

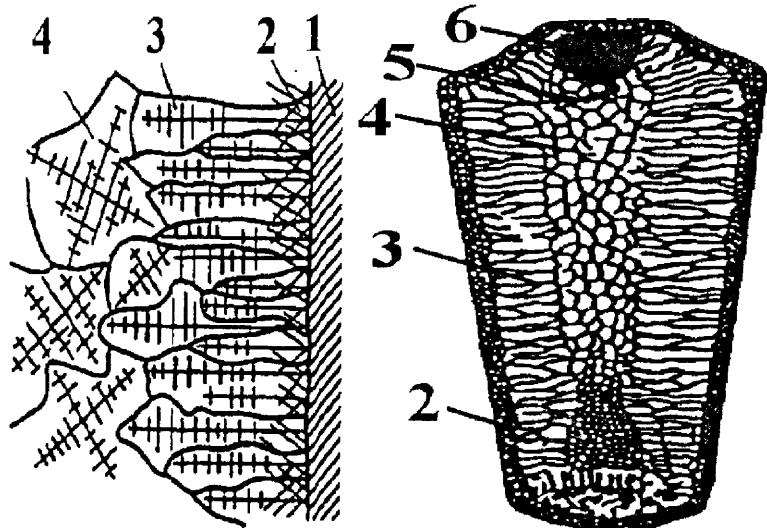


Рис.37. Схема образования слитка спокойной стали в металлической изложнице: а - расположение дендритов в наружных частях слитка, б - строение слитка; 1 - стенки изложницы, 2 - мелкие равноосные кристаллы, 3 - древовидные кристаллы, 4- равноосные крупные неориентированные кристаллы, 5 - рыхлый усадочный слой, 6 - усадочная раковина

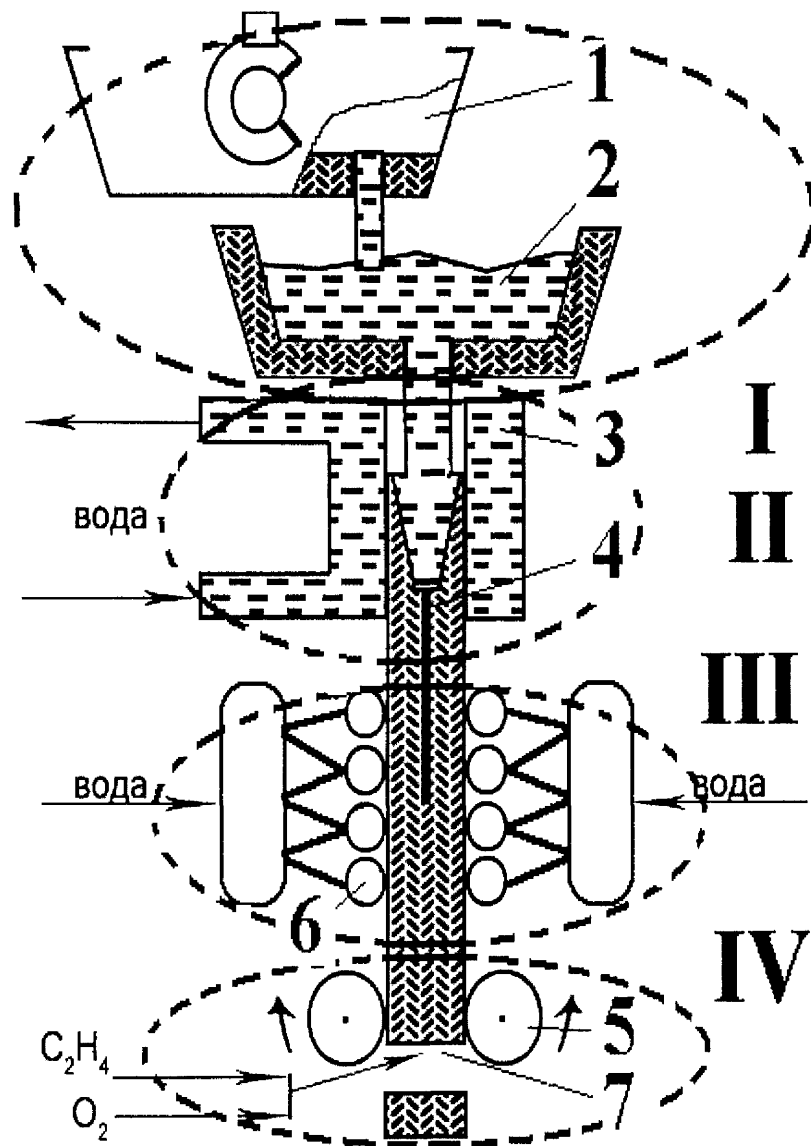


Рис. 38. Схема устройства непрерывной разливки стали: 1 - разливной ковш; 2 - промежуточная емкость; 3 - первичный водоохлаждаемый кристаллизатор с ложным дном в виде затравки - 4; 5 - натяжные ролики; 6 - разбрызгивающие воду форсунки зоны вторичной кристаллизации; 7 - ацетиленовый резак; ЗОНЫ: I - разливки; II - первичной кристаллизации; III - вторичной кристаллизации; IV - резки

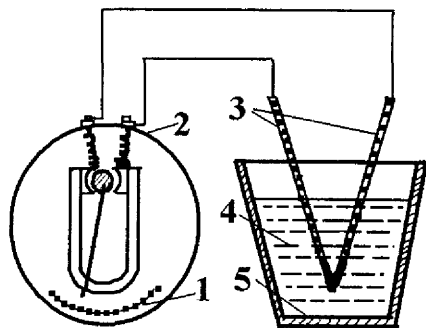


Рис. 39. Схема определения температуры плавления металла

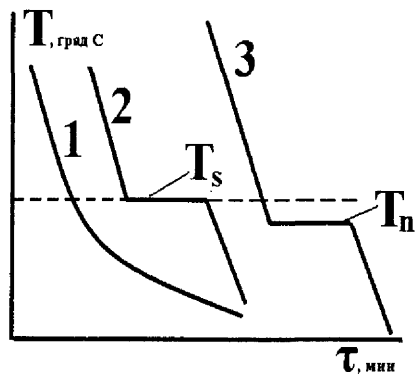


Рис. 40. Кривые охлаждения расплавов веществ: 1 - аморфного; 2 - кристаллического (теоретически); 3 -

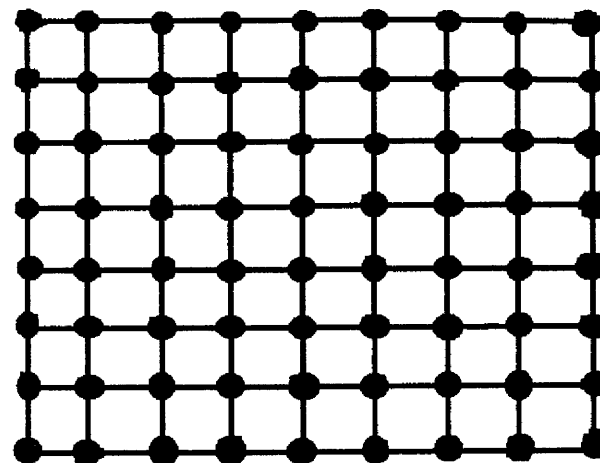


Рис. 42. Кристаллическая структура чистого компонента А

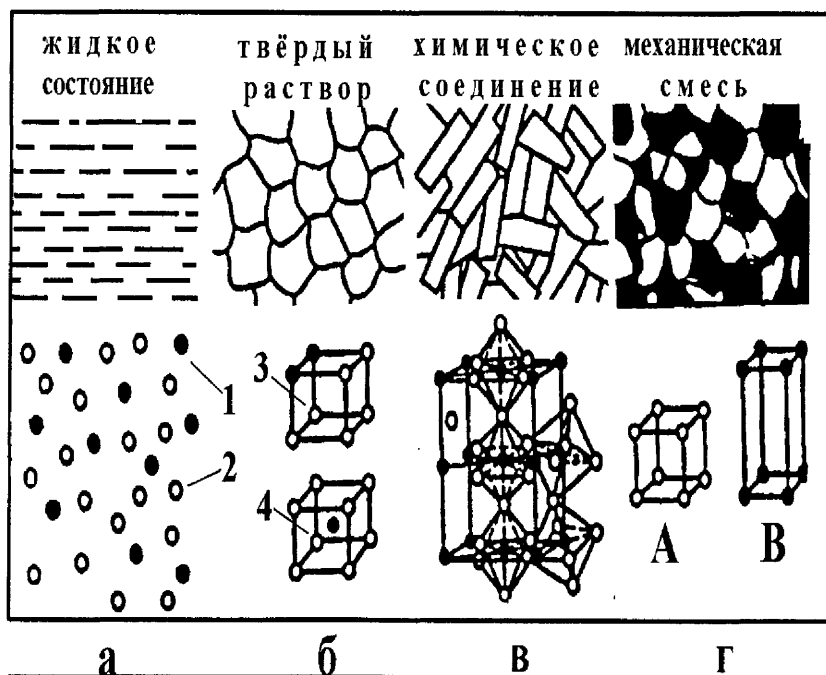


Рис. 41. Строение и структура элементарных ячеек различных биметаллических сплавов с компонентами А и В: 1 - атомы металла А; 2 - атомы металла В; 3 - твердый раствор замещения; 4 - твердый раствор внедрения

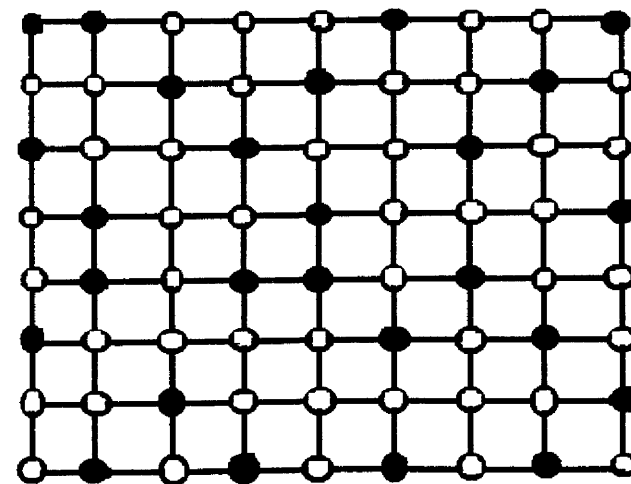


Рис. 43. Структура твердого раствора замещения компонента В в кристаллической решетке компонента А

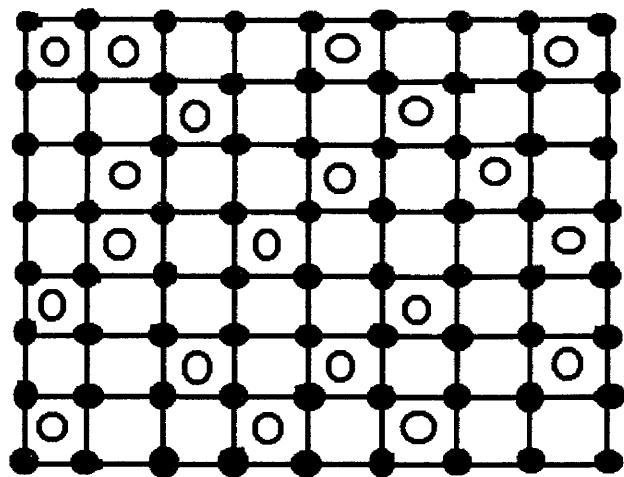


Рис. 44. Структура твердого раствора внедрения компонента В в кристаллической решетке компонента А

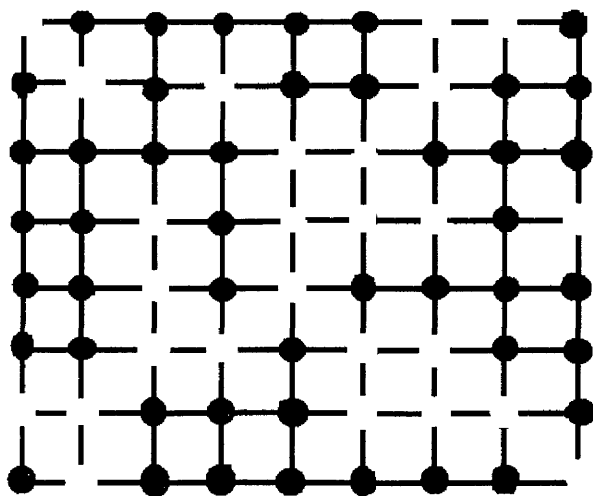


Рис. 45. Структура вычитания в кристаллической решетке компонента А

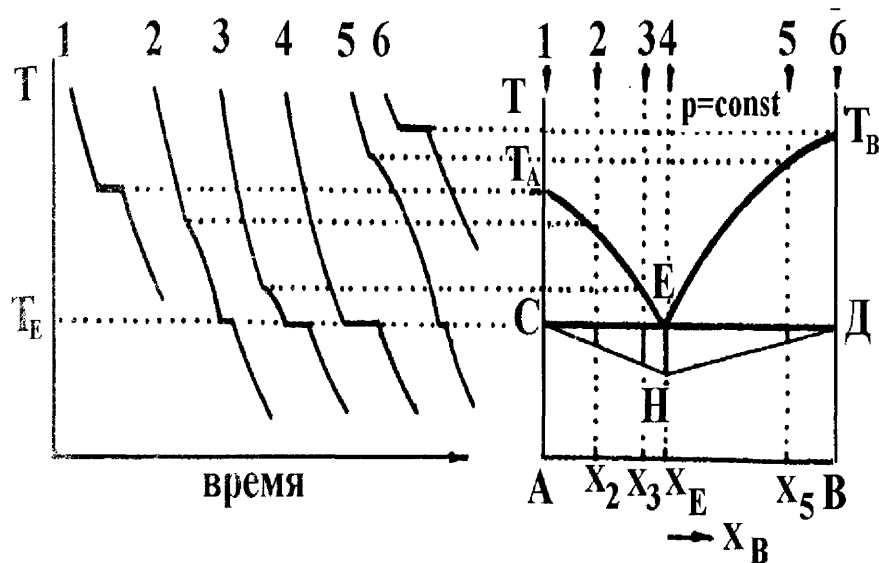


Рис. 46. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с простой эвтектикой (и треугольником Таммана для определения положения точки эвтектики)

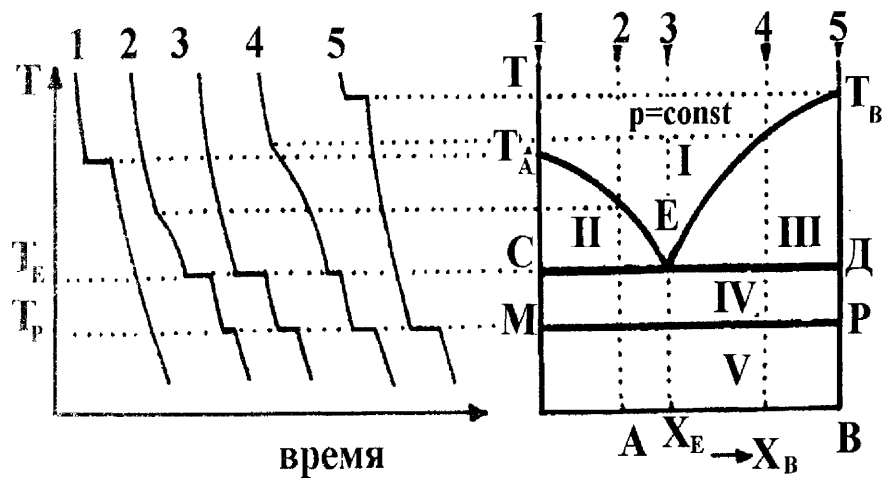


Рис. 47. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с простой эвтектикой и полиморфным переходом компонента В

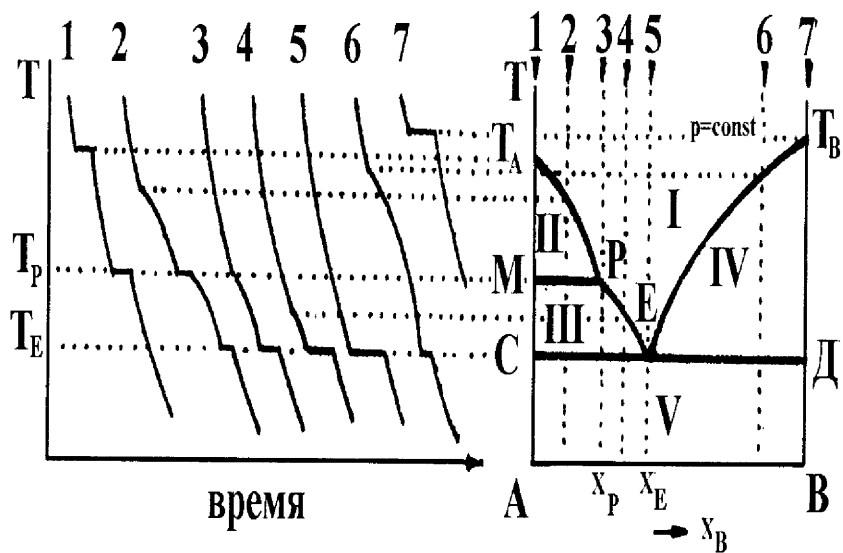


Рис. 48. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с простой эвтектикой в полиморфным переходом компонента А

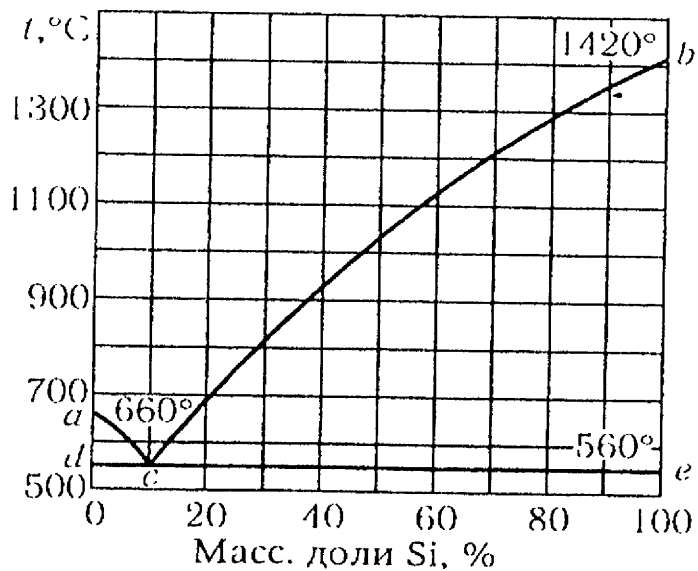


Рис. 49. Диаграмма состояния системы Al – Si с простой эвтектикой (точка С).

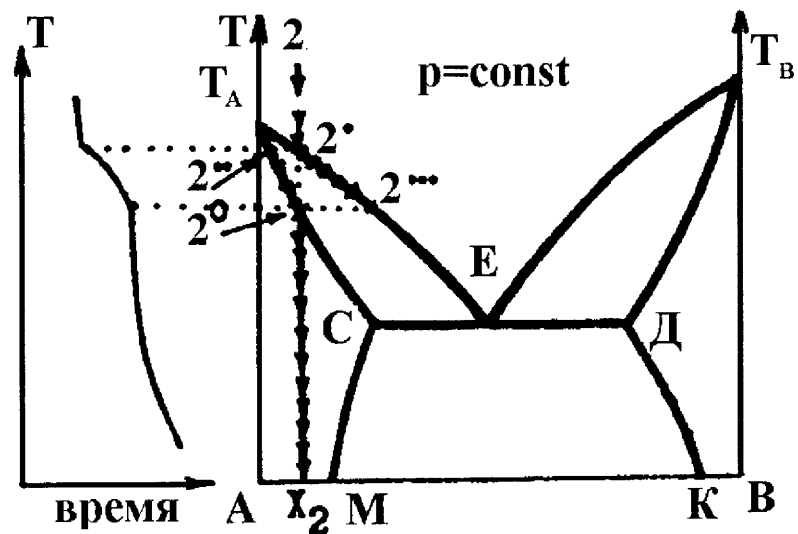


Рис. 50. Процесс охлаждения расплава состава X₂

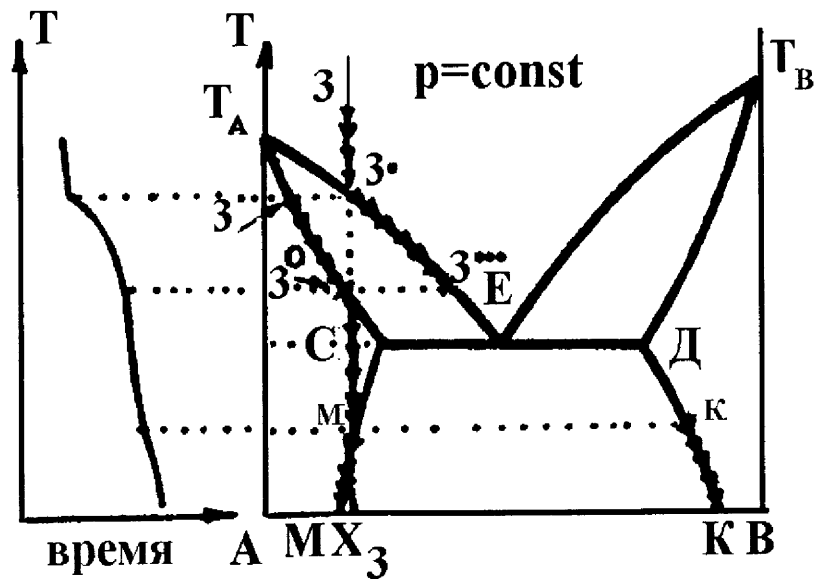


Рис. 51. Процесс охлаждения расплава состава X₃

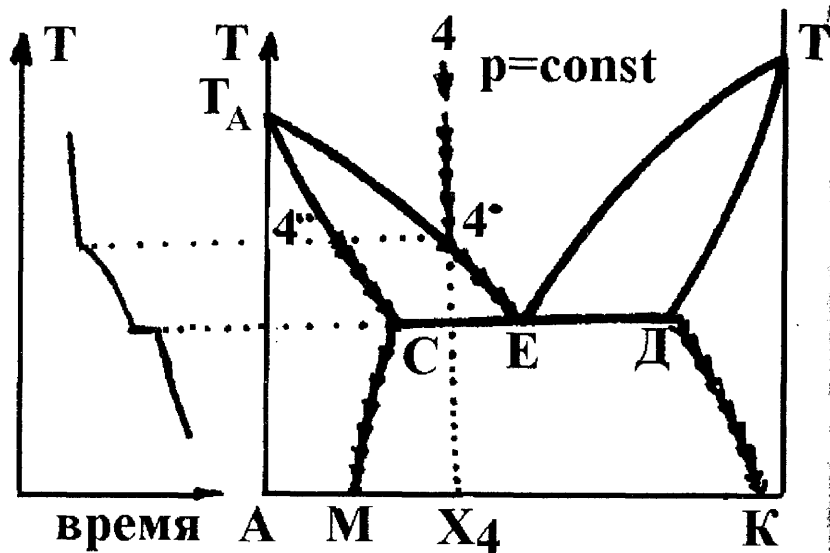


Рис. 52. Процесс охлаждения расплава состава X_4

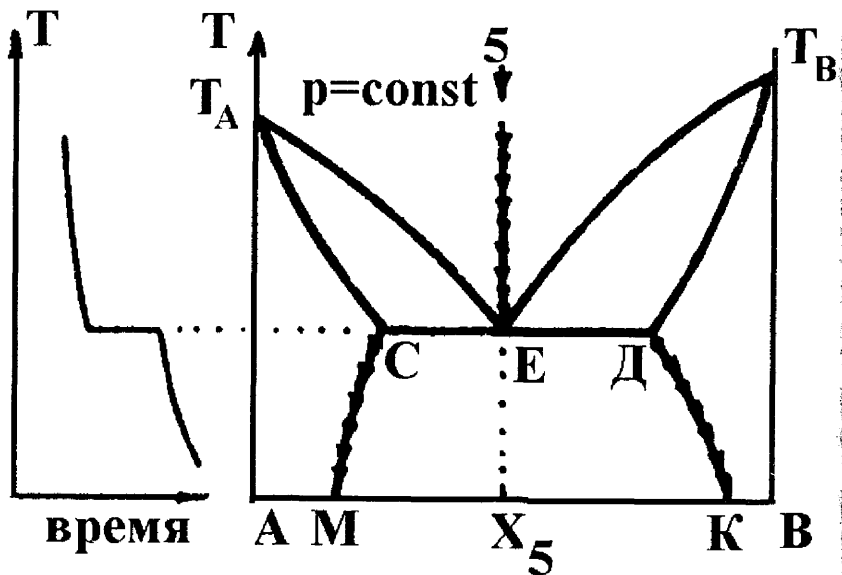


Рис. 53. Процесс охлаждения расплава состава X_5

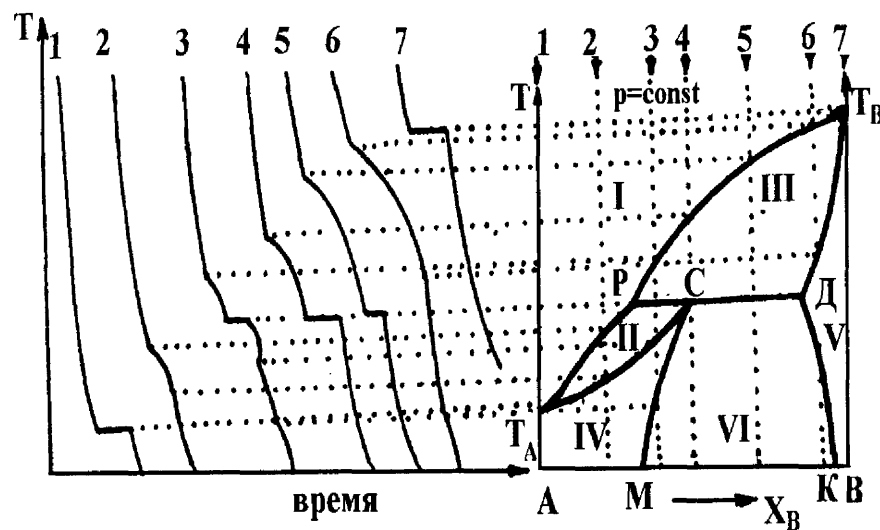


Рис. 54. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью компонентов в твердых фазах (с перитектической точкой)

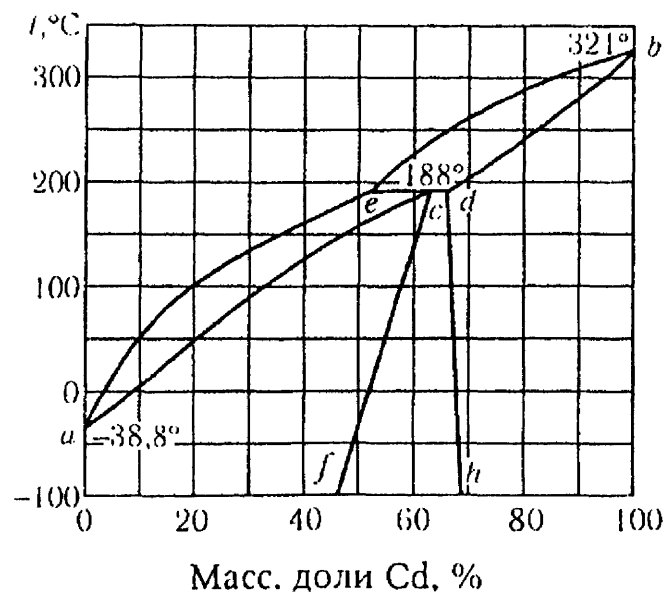


Рис. 55. Диаграмма системы Hg - Cd с ограниченной растворимостью

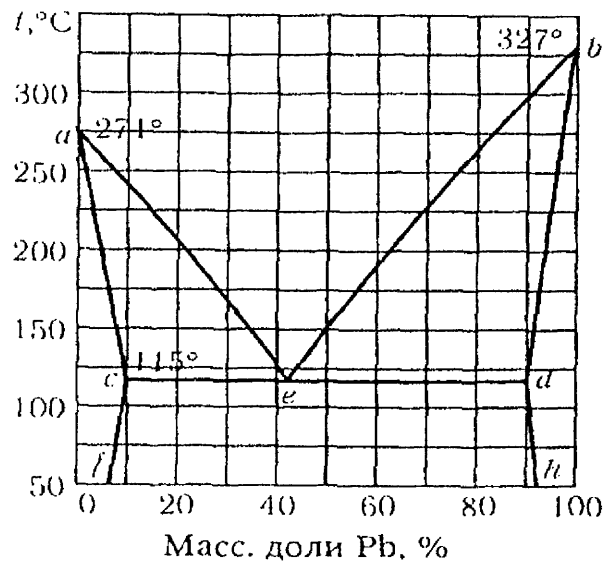


Рис. 56. Диаграмма системы Bi - Pb с частичной растворимостью

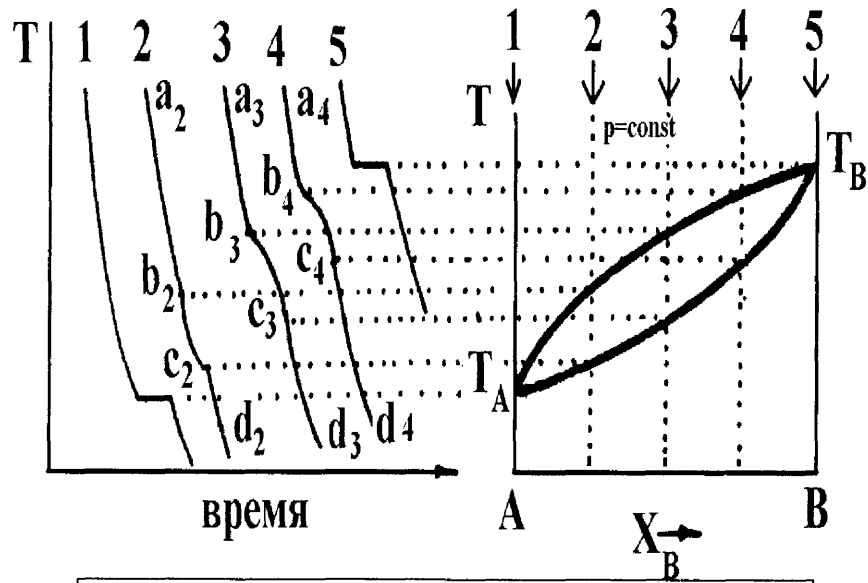


Рис. 57. Диаграмма состояния и кривые охлаждения (а) изоморфно кристаллизующейся системы, образующей твердые растворы типа I

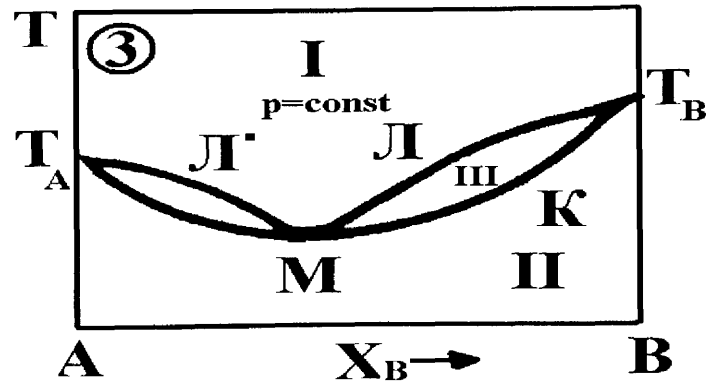
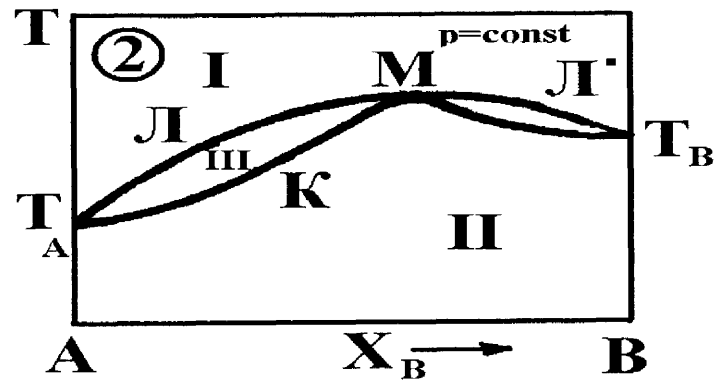
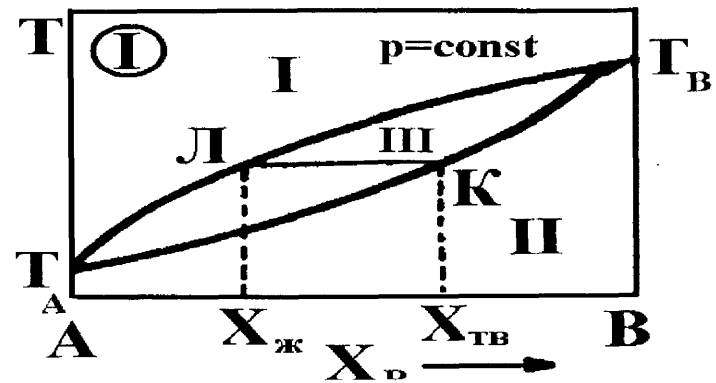


Рис. 58. Диаграммы состояния изоморфно кристаллизующихся двухкомпонентных систем

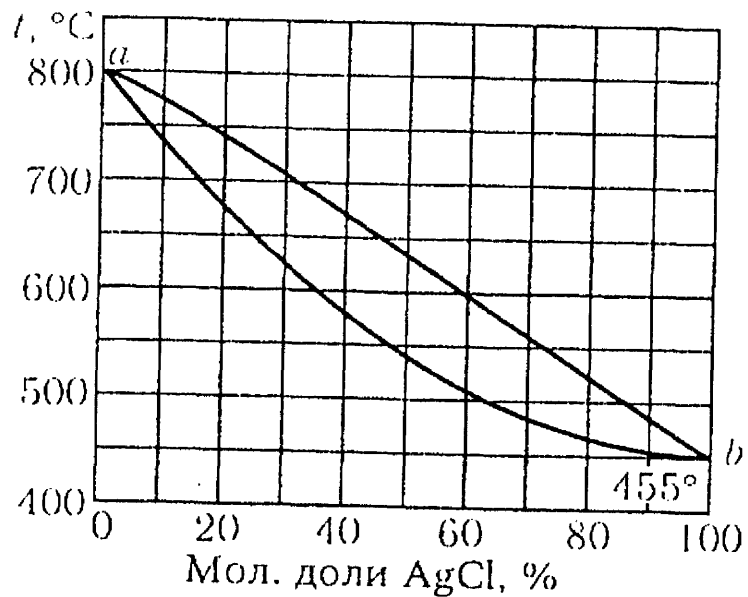


Рис. 59. Неограниченная растворимость, система NaCl - AgCl

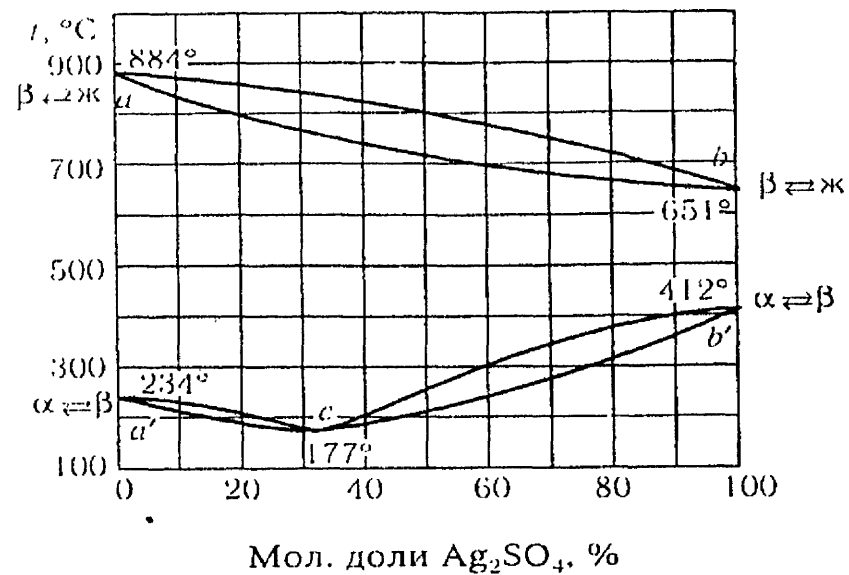


Рис. 61. Диаграмма состояния системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Ag}_2\text{SO}_4$ (III-го рода, в интервале температур $100 + 200^\circ\text{C}$, с минимумом)

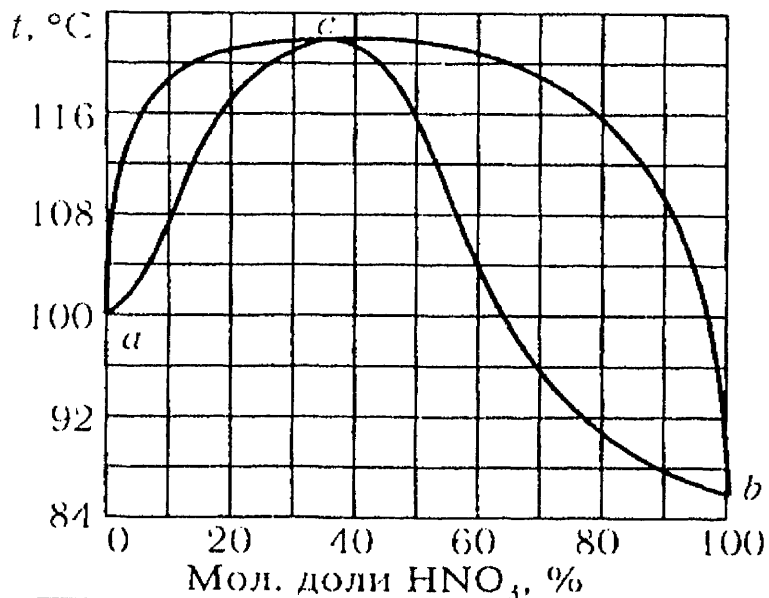


Рис. 60. Диаграмма состояния системы $\text{H}_2\text{O} - \text{HNO}_3$ (II-го рода, с максимумом).

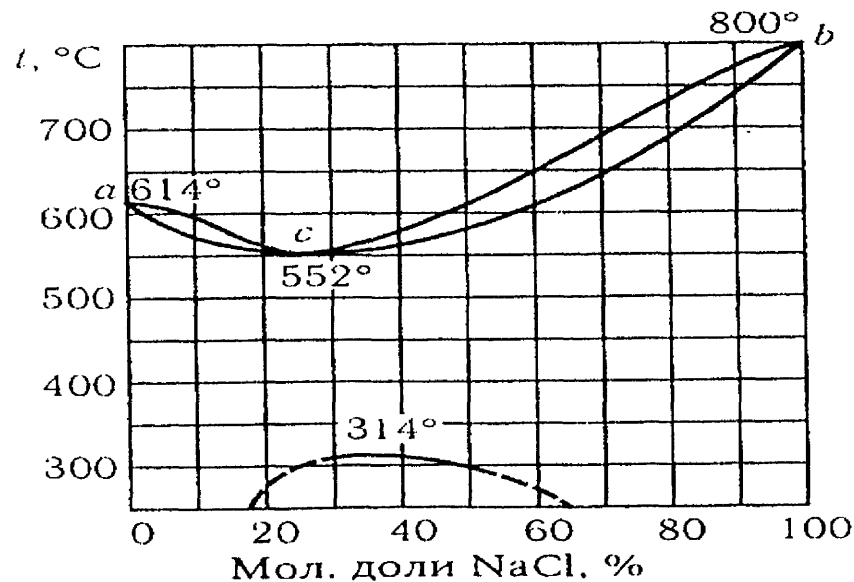


Рис. 62. Диаграмма состояния системы LiCl - NaCl (III-го рода, в интервале температур $550 + 800^\circ\text{C}$, с минимумом)

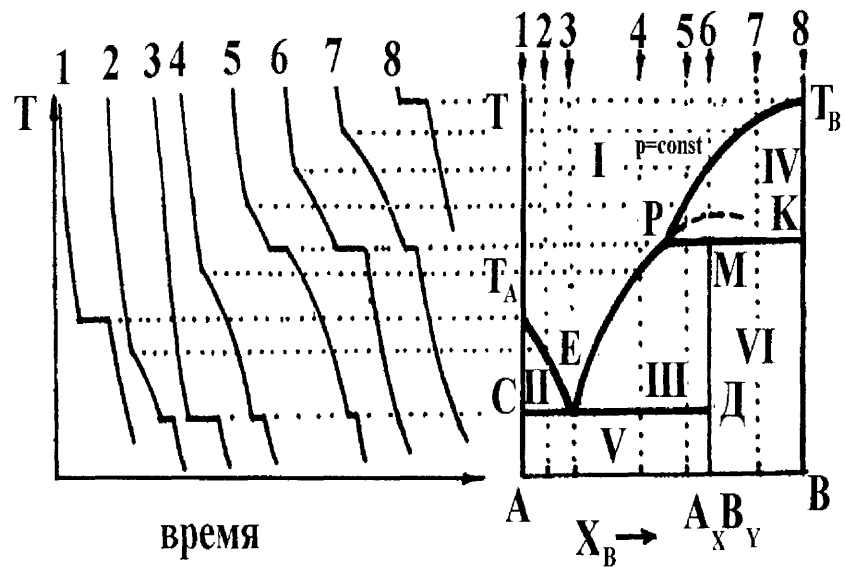


Рис. 63. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с одним инконгруэнтно плавящимся химическим соединением

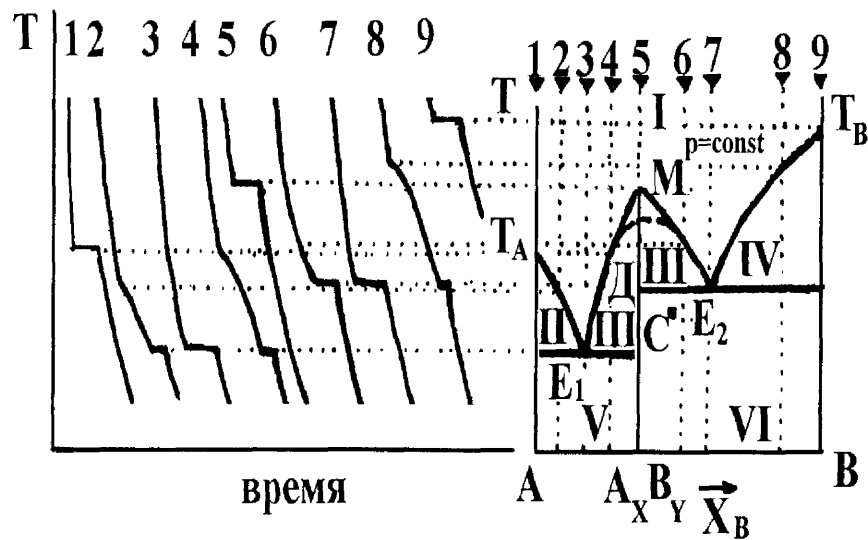


Рис. 64. Кривые охлаждения и диаграмма состояния системы с одним инконгруэнтно плавящимся химическим соединением

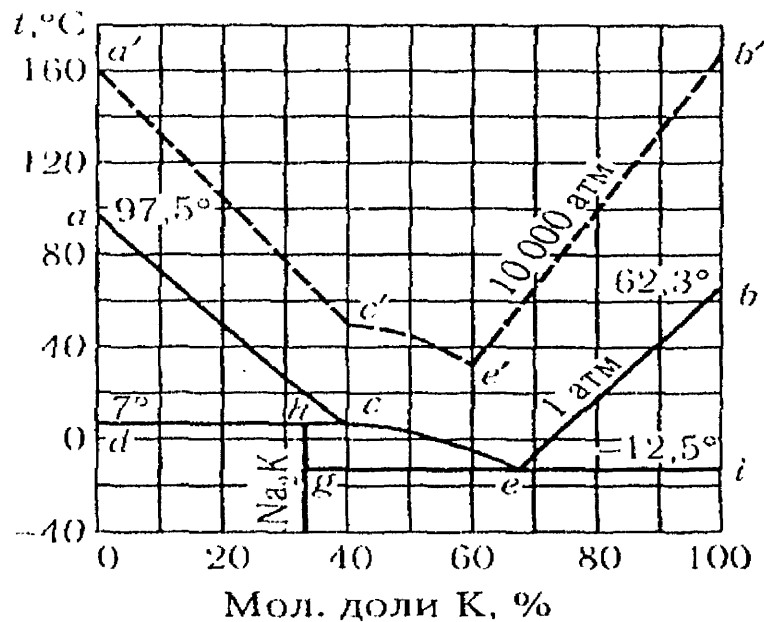


Рис. 65. Диаграмма состояния системы Na - K с одним химическим соединением вида Na_2K .

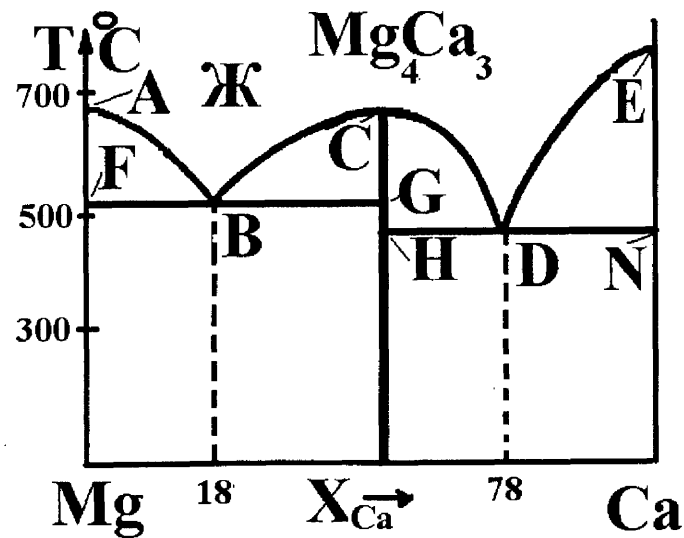


Рис. 66. Диаграмма состояния системы Mg - Ca с одним инконгруэнтно плавящимся химическим соединением Mg_4Ca_3

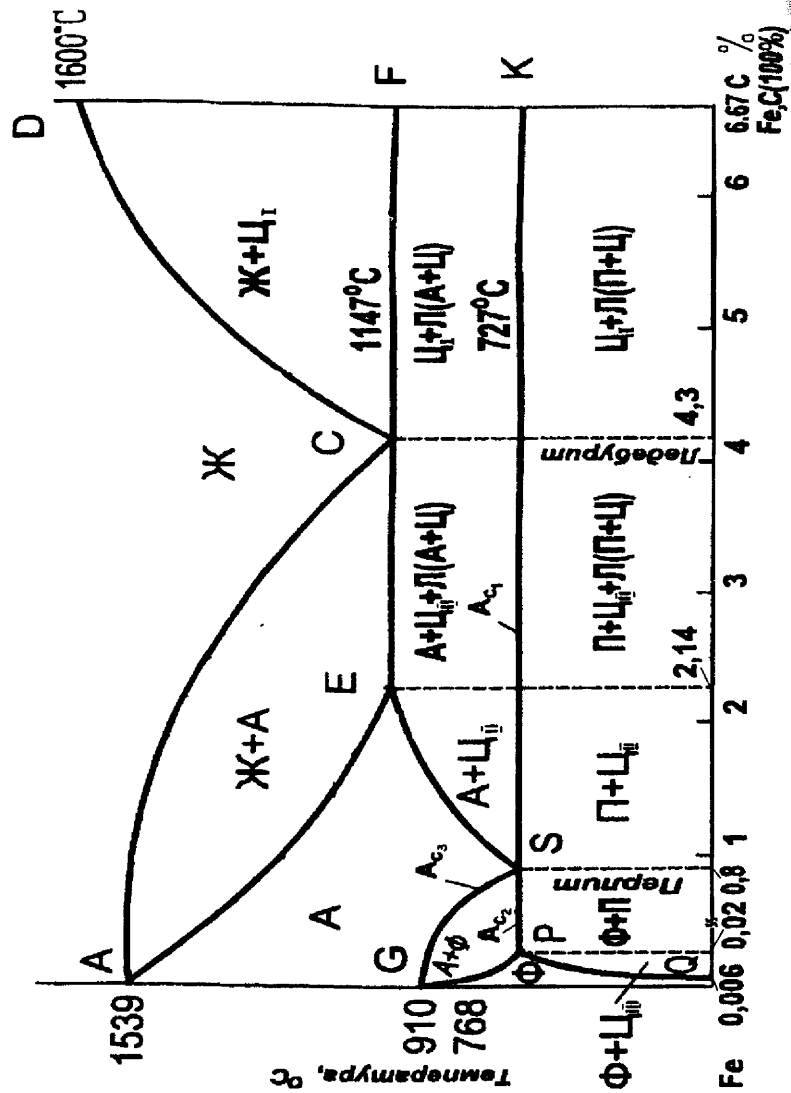


Рис. 67. Диаграмма состояния железо-Цементит. Ж-жидкость; Ц-цементит (индексы: I- первичный II-вторичный; III- третичный) А-аустенит; Ф-феррит; П-перлит (эвтектоид, т.е. механическая смесь феррита и цементита); Л-ледебурит (эвтектика, т.е. механическая смесь аустенита и цементита) Линия АСD -ликвидус, линия АЕСF - солидус. CD - линия первичного цементита (из жидкого расплава); SE- линия вторичного цементита (при перекристаллизации аустенита) PQ- линия третичного цементита (из феррита)

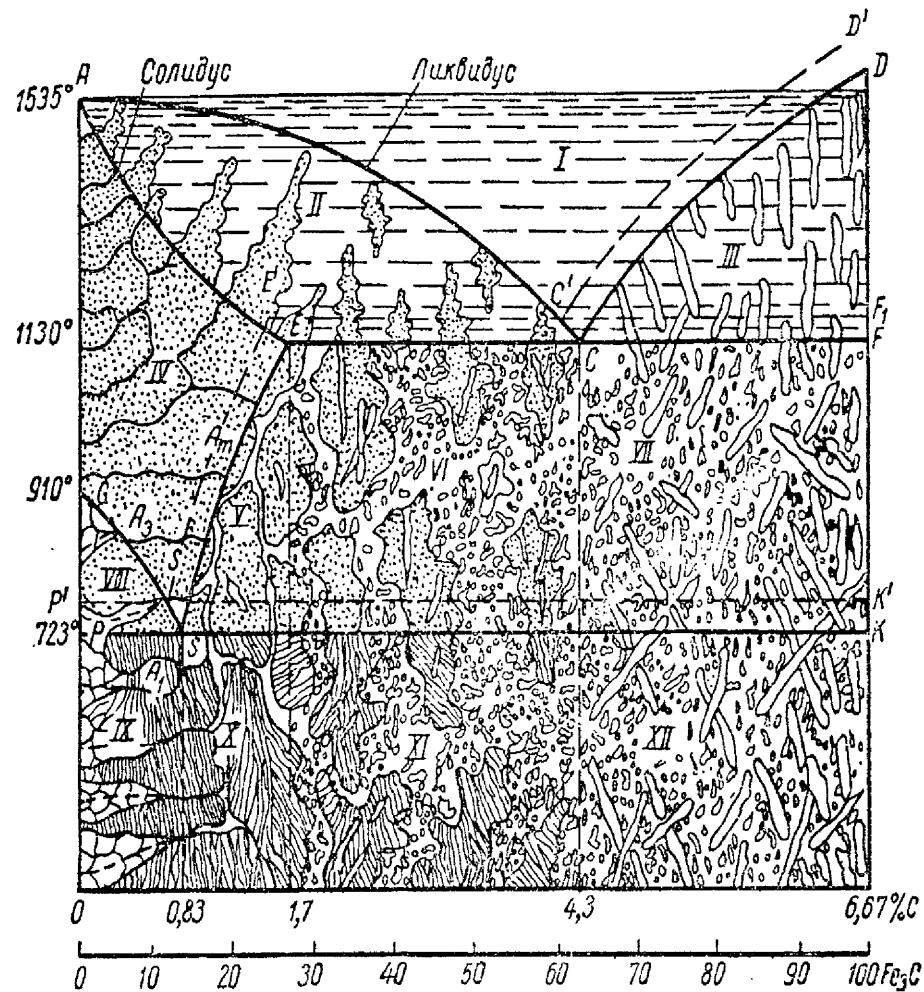


Рис. 68. Диаграмма состояния железо-цементит: I – жидкое состояние; II – жидкий сплав и кристаллы; III – жидкий сплав и кристаллы первичного цементита; IV – кристаллы аустенита; V – кристаллы аустенита и вторичного цементита; VI – кристаллы аустенита и вторичного цементита на фоне ледебурита; VII – кристаллы первичного цементита на фоне ледебурита; VIII – кристаллы аустенита и феррита; IX – кристаллы феррита и перлита; X – кристаллы вторичного цементита и перлит; XI – перлит на фоне ледебурита; XII – первичный цементит на фоне ледебурита. Диаграмма состояния железо – графит нанесена пунктирными линиями; зоны I, II, IV, V, VIII, IX, X имеют те же фазы, что и в диаграмме состояния железо – цементит; III – жидкий сплав и первичный графит; VI – кристаллы аустенита и графитовая эвтектика; VII – перлит (первичный) и графитовая эвтектика; XI – перлит и графит; XII – феррит и графит

СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Основные сплавы на основе железа - стали и чугуны.

Стали – железоуглеродистые сплавы, содержащие не более 2,14% углерода. Стали - основной конструкционный материал, применяемый для производства машин, инструментов, приборов, различных аппаратов и конструкций.

Чугуны – железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% углерода.

Признаки классификации стали:

- по химическому составу
- по назначению
- по способу получения
- по качеству
- по степени раскисления
- по типу структуры

Классификация чугунов:

- по получению: белый, серый
- по назначению: пердедельный, машиностроительный
- по свойствам: ковкий, серый, модифицированный (высокопрочный)

Осредненный состав серого чугуна: C – 2,7÷3,7 %, Si – 0,2÷2,0 %, Mg – 0,5÷1,1 %, P – 0,2÷0,3%, S – 0,12÷0,15%

Легирующие добавки в сталь по признаку существования γ -Fe:

- первого класса (расширяющие температурный диапазон): Ni, Mn, Co, N₂
- второго класса (сужающие температурный диапазон): Cr, Mo, W, V, Si

Легируемые стали (по признаку существования γ -Fe):

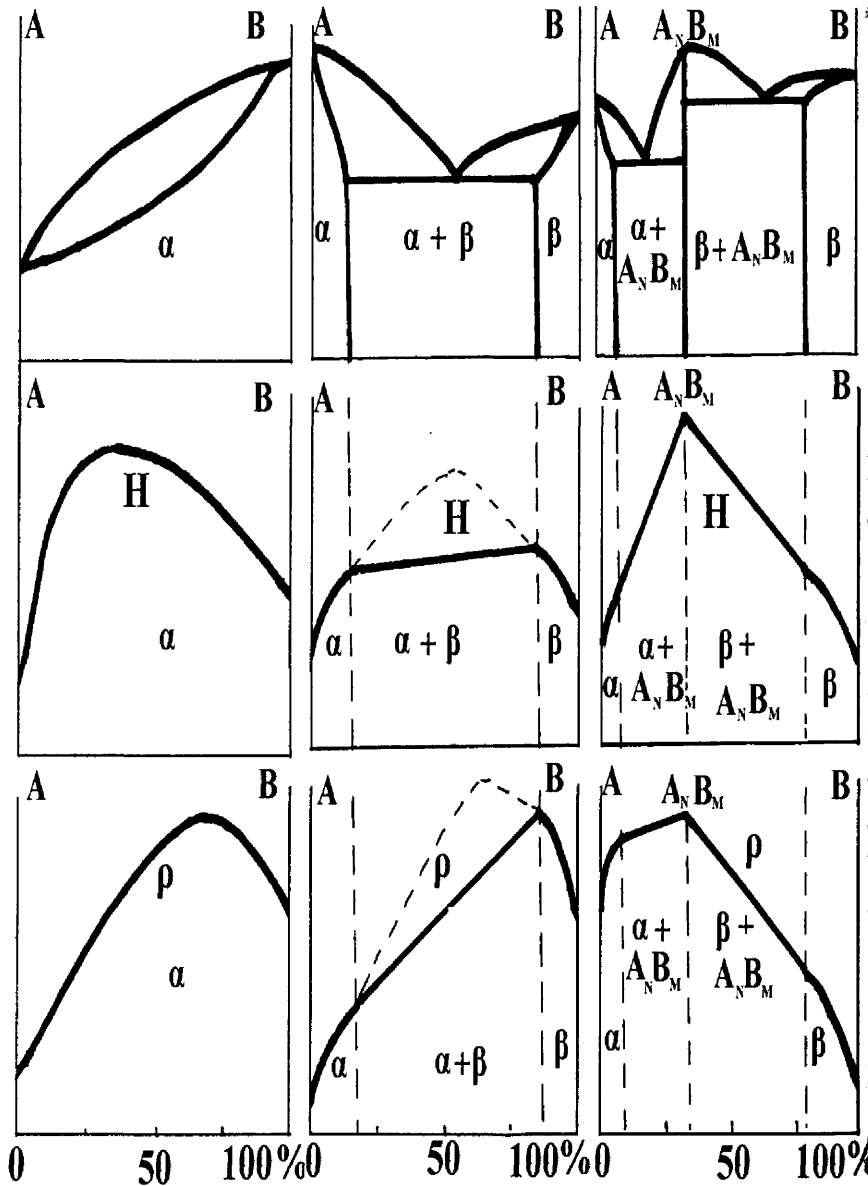


Рис. 69. Диаграммы состав-свойства (диаграммы Курнакова-Жемчужного) для систем с неограниченной растворимостью, ограниченной растворимостью и образованием химического соединения: НВ – твердость; ρ – температурный коэффициент электросопротивления

- аустенитные (γ -Fe устойчиво даже при нормальных условиях)
- ферритные (γ -Fe отсутствует во всем диапазоне температур)

Чугуны

Серый чугун: СЧ-10 (Ф), СЧ-15 (Ф), СЧ-20(Ф-П), СЧ-25(П), СЧ-30), СЧ-35(П) - серый чугун, значение временного сопротивления при растяжении σ (МПа* 10^{-1}), соответственно составляет 100, 150, 200, 250, 300, 350 МПа. Ф – ферритный чугун; П – перлитный, Ф-П – феррито-перлитный.

Высокопрочный (модифицированный) чугун: ВЧ-35, 40, 50, 60, 70, 80, 100 - высокопрочный чугун, σ (МПа* 10^{-1}), соответственно: 350, 400, 500, 600, 700, 800, 1000 МПа.

Ковкий чугун: КЧ-30-6, -33-8, -35-10, -37-12, -45-7, -50-5, -55-3, -65-3, -70-2, -80-1,5 - ковкий чугун. Например, КЧ-30-6 – ковкий чугун, отливка из которого имеет минимальное значение временного сопротивления при растяжении 300 МПа и относительное удлинение (пластичность) 6%.

Стали

Легирующие добавки стали обозначают (по ГОСТ 4543-71):

А – N₂, Б – Nb, В – W, Г – Mn, Д – Cu, Е – Se, К – Co, М – Mo, Н – Ni, П – P, Р – B, С – Si, Т – Ti, Ф – V, Х – Cr, Ю – Al

Специальные легированные стали маркируют: Ж – нержавеющая, хромистая, Ш – шарикоподшипниковая, Ю – нержавеющая хромоникелевая, Р - быстрорежущая

Углеродистые стали:

– обычное качество (А, Б, В);

– качественные (с обычным содержанием Mn и с повышенным содержанием Mn);

– высококачественные.

Инструментальные стали – качественные (как правило).

Маркировка сталей:

– Ст0, Ст1... Ст7 – сталь обычного качества группы А, химический состав не гарантирован;

– ТСт0...ТСт7 – сталь обычного качества группы Б, химический состав гарантирован, не гарантированы механические свойства;

– ВБСт4 – бессимеровская сталь типа 4 (пример). Сталь обычного качества группы В, гарантированы химический состав и механические свойства*;

– УСт11 – инструментальная сталь. Число (например, 11) – содержание углерода в десятых долях процента.

*для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали добавляются индексы: КП – кипящая (например, Ст3кп), СП – спокойная (Ст3сп) ПС – полуспокойная (Ст4пс)

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

По запасам железной руды Россия входит в десятку ведущих стран, обладая почти 17% ее мировых запасов (56 млрд. т), а по добыче (84,2 млн. т) уступает лишь Бразилии, Китаю и Австралии. Но железорудные запасы в стране четко разделены по географическому принципу (смотри карту): сырье сосредоточено преимущественно в европейской части страны. На Курскую магнитную аномалию (Белгородская, Курская, Воронежская области) приходится 58% российских запасов руды, на Северо-Западный регион (Карелия, Мурманская область) -8%. Урал -15%. Сибирь - 12%. Дальний Восток располагает 7% общего объема российских запасов. В Центральном регионе расположены Стойленский, Михайловский, Лебединский. ГОКи, а также ОАО «КМА-Руда», на которые приходится более половины добычи -свыше 45 млн т. Расположенные на севере ОАО «Карельский окатыш», Оленегорский ГОК (ОЛКОН) и Ковдорский ГОК в общем объеме сохраняют долю в 18-20%. Уральские горно-рудные предприятия: Качканарский ГОК «Ванадий», Высокогорский ГОК. Бакальский рудник, ОАО «Богословское рудоуправление» -добывают до 20% от общего объема руды. Остальной объем приходится на небольшие рудные комбинаты Сибири:«Сибруд» (Шергешское рудоуправление, Ирбитский рудник и т. д.), а также единственный в Сибири крупный ГОК - Коршуновский (см. таблицу). Отличие российских руд от сырья, добываемого в Австралии или Бразилии,- меньшее содержание железа: его лишь 15-30%. В бразильской или австралийской руде металла содержится не меньше 50%. Однако российские руды имеют и свои преимущества. Так, на уральских месторождениях в руде содержатся легирующие металлы, например ванадий. Руду с такими свойствами добывает Качканарский ГОК, который входит в Уральскую горно-металлургическую компанию (УГМК), а ее главным потребителем является входящий в «Евразхолдинг» Нижнетагильский меткомбинат (НТМК). Общая емкость российского рынка железорудного сырья (концентрат, окатыши и аглоруда) составляет около 85 млн т, из которых до 8-10 млн т ежегодно завозится из-за границы, в основном из Казахстана. Основным поставщиком этого сырья

является Соколовско-Сарбайский ГОК (Казахстан), а его главным потребителем -Магнитогорский меткомбинат. При этом Россия сама ежегодно экспортирует до 14 млн т рудного сырья. Экспортом главным образом занимаются ГОКи, расположенные в европейской части страны, рядом с границей. В технологии добычи от производства железорудного концентрата и окатышей ГОКи переходят к выпуску металлургических брикетов, служащих сырьем для электросталеплавильного производства. В России таких мощностей немного -на них выпускается лишь 13% всей отечественной стали, тогда как в Западной Европе их доля в несколько раз выше. За последние десять лет в России не был введен в строй ни один новый ГОК. Существующие комбинаты крайне медленно наращивают темпы добычи -в 2002 году прирост составил всего 1,7%. За 2003 год средний рост производства в черной металлургии, по данным Минэкономразвития, составил более 9%, тогда как в горнорудной промышленности -лишь 3%. Нехватка руды не позволяет российским металлургам резко увеличить объем производимой стали. Таким образом, металлургам необходимо оптимизировать существующие добывающие производства, и, как следствие, их ценность будет расти. У металлургов есть и другой сырьевой ресурс. Кроме руды в России есть впечатляющие запасы металлолома (они оцениваются в 0,8-1,3 млрд т). Однако пока сбор лома черных металлов в России составляет всего лишь 18 млн т в год, из которых свыше трети вывозится за границу. Все попытки металлургов ввести ограничения на экспорт металлолома успехом не увенчались. В результате на Дальнем Востоке два металлургических предприятия, «Амурметалл» и «Дальвостметалл», остались без сырья - оно уходит в КНР. Так в 2002 году Китай произвел около 180 млн т стали. Почти две трети необходимой руды (около 150 млн т) КНР завезла из-за рубежа (в основном, из Австралии). Всего за 2003 год спрос на руду в Китае вырос более чем на 50%. По прогнозам, в 2004 году объем закупок Китаем железной руды на мировом рынке вырастет с нынешних 150 млн. тонн до 230 млн т. Ажиотажный спрос на руду в Китае уже привел к росту цен на мировом рынке, и сейчас тонна сырья в Европе стоит около \$30 за 1 т (в 2002 году она стоила \$18-20).

Лидеры российских металлургических предприятий
(рыночная капитализация на начало 2004 г., млрд. долларов США):

- ГМК "Норильский Никель" (Красноярский Край) - 12,83;
- "Северсталь" (Вологодская обл.) - 2,65;
- СУАЛ (Свердловская обл.) - 0,814;
- НГМК (Свердловская обл.) - 0,655;
- ЗАПСИБ (Кемеровская обл.) - 0,613.

Производители и потребители железной руды в России

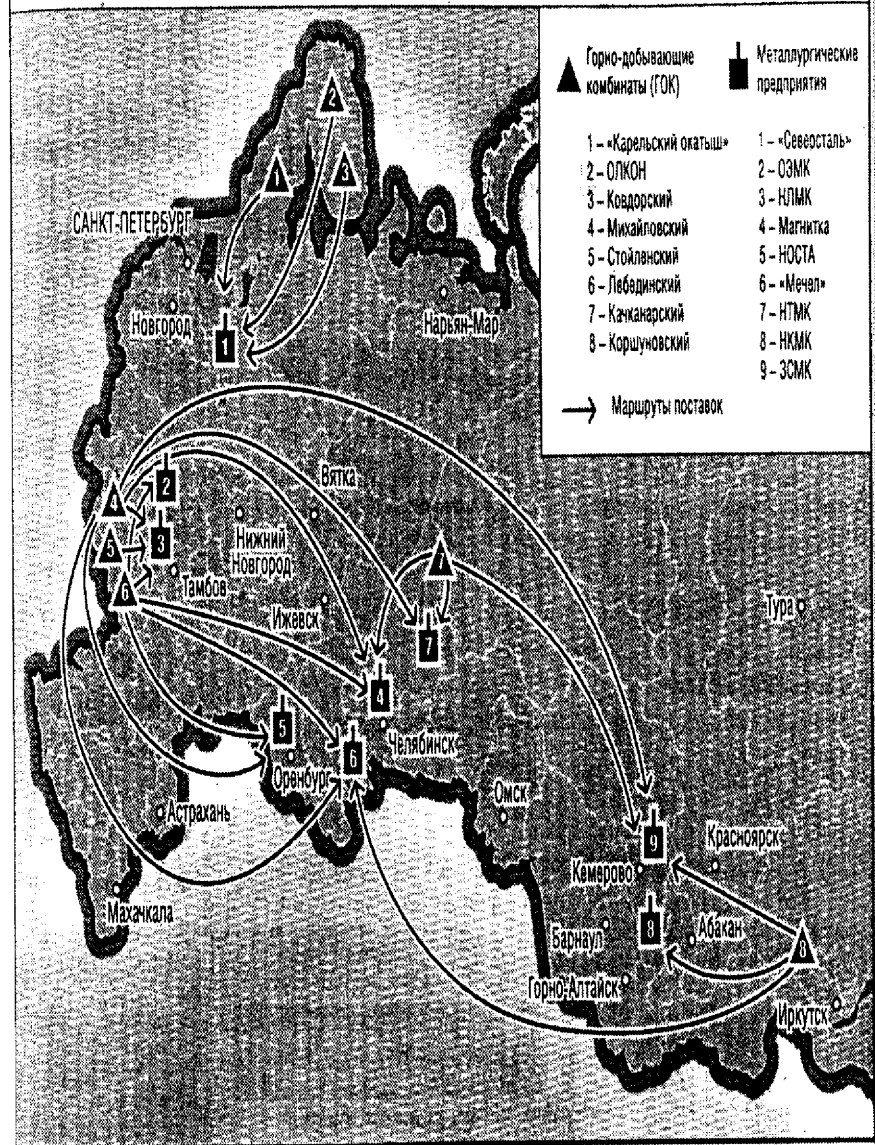


Рис. 70. Производители и потребители железной руды в России

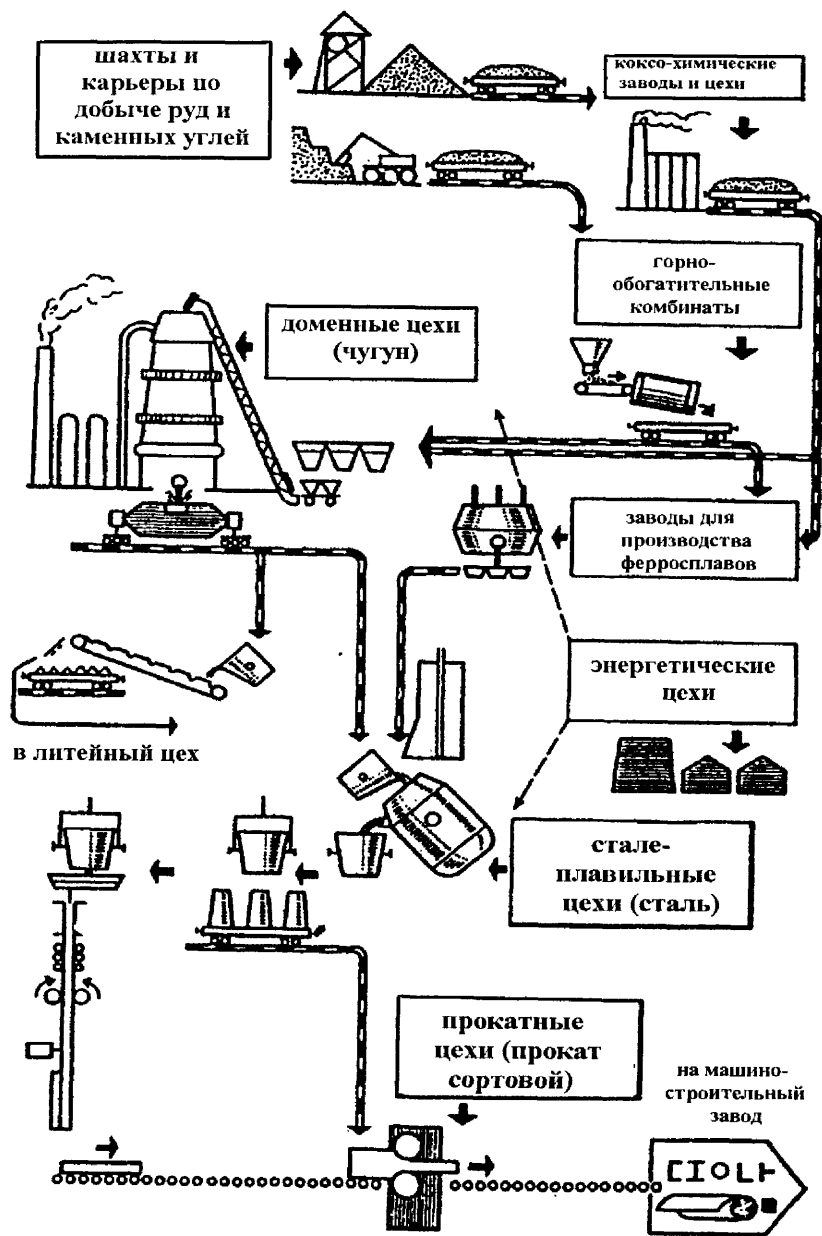


Рис. 71. Схема металлургического производства

СТАЛИ

Классификация сталей

1. По способу получения: конверторная, томассовская, бессимеровская, мартеновская, электросталь.
2. По химическому составу: углеродистые; легированные.
3. По назначению: конструкционные; инструментальные; специального назначения с особыми свойствами.
4. По качеству: обыкновенного качества; качественные; высококачественные; особовысококачественные.
5. По степени раскисления: спокойная; полуспокойная; кипящая.
6. По типу структуры: для отожженного состояния: доэвтектоидные; эвтектоидные; заэвтектоидные; ледебуритные; аустенитные; ферритные; для нормализованного состояния: перлитные; мартенситные; аустенитные; ферритные.
7. По химическому составу: углеродистые; легированные.
8. По качеству: обыкновенного качества ($\leq 0.06\% \text{ S}$ и $\leq 0.07\% \text{ P}$); качественные ($\leq 0.04\% \text{ S}$ и $\leq 0.035\% \text{ P}$); высококачественные ($\leq 0.025\% \text{ S}$ и $\leq 0.025\% \text{ P}$); особовысококачественные ($\leq 0.015\% \text{ S}$ и $\leq 0.02\% \text{ P}$).
9. По типу структуры: аустенитные (при введении добавок 1 класса: Ni, Mn, Co); ферритные (при введении добавок 2 класса: Cr, Mo, V, W, Si)

Легированные стали

1. По числу легирующих элементов: однолегируемые (хромистые и др.), сложнелегируемые (хромо-никелевые и др.).
2. По количеству добавок: низколегируемые (легирующих добавок от массы отливки - до 2,5%), среднелегируемые (2,5 - 10%), высоколегируемые (более 10%).
3. Специальные легируемые стали: шарико-подшипниковая (обозначаются «Ш»), нержавеющая хромистая («Ж»), нержавеющая хромо-никелевая («Я»), быстрорежущая («Р»)

Влияние углерода и постоянных примесей

Углерод: с ростом содержания С повышается твердость и прочность, уменьшается пластичность и вязкость сталей. В углеродистых сталях содержатся также S, P, Si, Mn (технологические примеси). **Сера:** S образует FeS, которая с Fe формирует эвтектику. Наличие данной эвтектики вызывает *красноломкость* стали.

Фосфор: P растворяется в феррите снижает пластичность сталей и вызывает хладноломкость сталей.

Кремний: Si (до 0.5%) и Mn (до 0.8%) – хорошие раскислители, отрицательного действия на свойства сталей не оказывают.

Газообразные примеси: O₂, N₂, H₂ -снижают пластичность и повышают склонность сталей к хрупкому разрушению. O₂, N₂ образуют оксиды и нитриды. Кислородные включения вызывают красно- и хладноломкость, снижают прочность. Увеличенное содержание N₂ повышает хрупкость сталей. Водород, когда он находится в твердом растворе вызывает *охрупчивание* сталей (возможно также в присутствии Cu, As, Sb, Sn)

Легирующие добавки стали

Легирующие элементы можно разделить по характеру влияния на температуру полиморфных превращений (A_{c3} и A_{c4}).

Добавки 1 класса: Ni, Mn, Co, Cu . Расширяют область существования гамма-железа (910-1401 град С). Температура A_{c3} понижается. Температура A_{c4} повышается. Стали с решеткой ГЦК при комнатной температуре - *аустенитные*.

Добавки 2 класса: Cr, Mo, W, V, Si, Ti. Сужают область существования гамма-железа (910-1401 град С). Температура A_{c3} повышается. Температура A_{c4} понижается. Стали с решеткой ОЦК при температурах вплоть до линии солидуса - *ферритные*.

Карбиды в легированных сталях. Карбидообразующие элементы: Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Ti - это переходные металлы с недостроенной d-электронной оболочкой.

1. При содержании элемента в количестве 1-2% образуется легированный цементит (например (Fe, Mn)₃C).

2. Сильные карбидообразователи (Mo, W, V, Nb, Ti) образуют фазы внедрения MeC или Me₂C.

3. Cr в низко- и среднелегированных сталях (<10%) образует Cr₇C₃. В высоколегированных сталях - Cr₂₃C₆. Карбиды хрома могут растворять Fe и легирующие элементы.

4. Cr влияет на карбидообразование при совместном введении с Mo и W. При определенных соотношения Cr и Mo (W) фазы внедрения не образуются, а появляются сложные карбиды, содержащие Cr, Mo (W), Fe с формулой Me₆C. Они растворимы в аустените лишь при высоких температурах.

Фазовая структура сплавов на основе железа (Fe-Э и Fe-C-Э):

1. Аустенитные сплавы - сохраняют γ - фазу Fe при всех температурах.

2. Ферритные сплавы - сохраняют α - фазу Fe при всех температурах.

3. Полуферритные сплавы - состоят из α- и γ - фаз Fe.

4. Сплавы, имеющие γ - фазу при повышенных температурах, при охлаждении претерпевают γ→α превращение.

Конструкционные стали

1. Конструкционные стали.

Углеродистые стали обыкновенного качества. Бывают трех групп: "А" (состав и свойства на гарантированы) маркируются: Ст 0 - Ст 6, "Б" (гарантирован хим. состав) маркируются: КСт0 (К- конверторная), БСт1 (Б- бессимеровская) и т.д., "В" (гарант. хим. состав и механические свойства) используется маркировка: ВКСт0, ВБСт1 и т.д.

Углеродистые и качественные стали. Гарантия химического состава и механических свойств. В маркировке углеродистых сталей: 08, 10, 15.....85 (сотые доли %С). Ограничения по составу качественных сталей ≤ 0.04 % S, ≤ 0.035 % P, ≤ 0.17-0.37 % Si, ≤ 0.08 % Mn. Стали с повышенным содержанием марганца (Mn - до 1.2 – 1.5%): 50Г. Стали с обычным содержанием марганца: Mn - до 1%.

Легированные стали. Обозначение легирующих элементов А - азот, В - ниобий, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Е - селен, К - кобальт, М - молибден, Н - никель, Р - бор, С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цирконий Ю - алюминий. Для высококачественных сталей в конце маркировка ставится «А»: обычная легированная сталь - 30ХГС, высококачественная - 30ХГСА (ограничение по содержанию S и P: до 0,02% S и до 0,03 % P).

2. Цементуемые углеродистые и легированные качественные стали.

3. Улучшаемые углеродистые и легированные качественные стали.

4. Рессорно-пружинные стали. Высокие предел упругости и усталостная прочность. Применяют углеродистые стали например марок 65, 85 и стали легированные Si, Mn, W, V (60С2, 65Г, 50ХФА, 65С2ВА. Закалка и отпуск при 400-450°С.

5. Шарикоподшипниковые стали. ШХ15 (0.95-1.05%С, 1.30-1.65% Cr) цифра после буквы - концентрация углерода в десятых долях %. ШХ6. ШХ9 и 98Х18 (17-19% Cr). Отжиг, закалка в масле от 820-860°С и отпуск при 150-200°С.

6. Легированные стали: коррозионностойкие или нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие

Инструментальные стали

Применяют углеродистые и легированные стали для изготовления трех групп инструментов: режущие, измерительные, штампы.

Углеродистые стали имеют маркировки - У7 (У7А), У8(У8А),... У13(У13А). Цифра обозначает содержание углерода в десятых долях процента, буква А - ≤ 0.02%S и ≤ 0.03%P. Стали У7 и У8 применяют для ударно-режущих механизмов и для деревообработки, У9 для ножовочных полотен, У9 для ножовочных полотен и деревообработки. У10 и У12 - для металлорежущих инструментов (сверла, фрезы), У13 для бритв и напильников. Закалка в воде при 160-240°С (в зависимости от требуемой твердости), малая прокаливаемость. Теплостойкость - 200°С. *Легированные стали марок X,*

9ХС, ХВГ. Преимущество - большая прокаливаемость, поэтому большие размеры деталей, возможность закалки в масле (меньшая деформация). Выше режущие свойства и теплостойкость до 250°С. *Быстрорежущие стали* для высоких скоростей резания и тяжелых условий. Обозначаются Р. Следующая цифра - % основного Э. Высокая теплостойкость - 600-620°С. Закалка в масле от 1270-1290°С для Р18 (W) и многократный отпуск при 550-570°С. *Стали для измерительного инструмента*. Применяют стали У10, Х, ХВГ. Закалка и отпуск при 120-140°С. *Штамповые стали*. Стали для инструмента холодного деформирования. Небольшие штампы (25 мм) и легкие условия стали У10, У11, У12. Штампы (100 мм) - Х, ХВГ, У12 и более тяжелые условия - Х12Ф1. Закалка и отпуск. Стали для инструмента горячего деформирования. Стали 5ХНМ, 5ХНВ (молот) и 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС (пресс-формы для литья под давлением. Высокая прочность, износостойкость и стойкость к циклическим перепадам температуры.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Термическая обработка стали:

- собственно термическая обработка
- химико-термическая обработка

Собственно термическая обработка стали: отжиг, закалка, отпуск

Отжиг:

- отжиг 1 рода: гомогенизационный, рекристаллизационный
- отжиг 2 рода: полный, неполный
- нормализационный отжиг (нормализация)

Закалка:

Закалочные структуры:

- Мартенсит (100-200 град/сек)
- Троостит (80-100 град/сек)
- Сорбит (50 град/сек)
- Перлит (менее 50 град/сек)

Поверхностная закалка:

- Контактный электронагрев
- Нагрев токами высокой частоты
- Нагрев газовыми горелками

Закалочные среды:

- расплавы соли калия и натрия, расплав свинца (50-100 град/сек)
- минеральные и растительные масла (300-500 град/сек)
- вода (600 град/сек)
- разбавленные водные растворы солей, кислот, щелочей (более 600 град/сек)

Химико-термическая обработка стали:

- Цементация
- Азотирование
- Нитроцементация (цианирование)
- Диффузионное поверхностное легирование (диффузионная металлизация): борирование, хромирование, алитирование, силицирование

Химико-термическая обработка стали включает собственно термическую обработку стали и химико-термическую обработку стали

Термическая обработка – совокупность операций: нагрев до определенной температуры, выдержка при этой температуре, последующее охлаждение (рис. 10).

Виды термической обработки: отжиг, закалка, отпуск

Отжиг – медленный нагрев изделий в печи, выдержка при определенной температуре и медленное охлаждение вместе с печью. Применяется для выравнивания химического состава и протекания фазовых превращений (рис. 75-76).

Закалка – нагрев стали выше критической точки фазовых превращений, выдержка при этой температуре, быстрое охлаждение. Применяется для придания твердости в результате повышения структурной неоднородности и неравновесности (рис. 77-78).

Отпуск – снимает последствия закалки (неравновесность, внутреннее напряжение). Медленное нагревание изделий до температуры ниже фазового превращения, последующее охлаждение на воздухе (рис. 78).

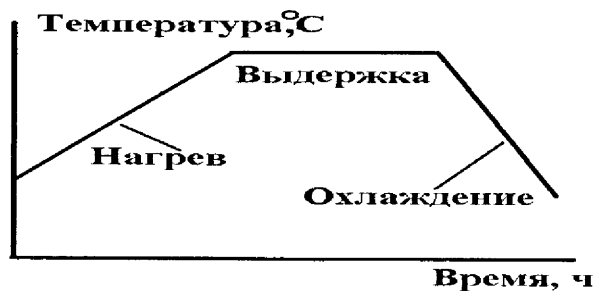


Рис. 72. Простая термическая обработка металлов и сплавов

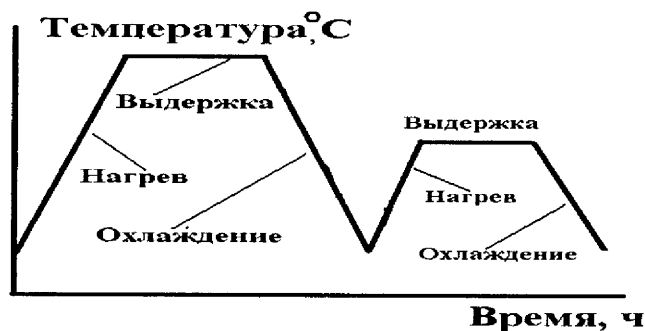


Рис. 73. Операции сложной термической обработки металлов и сплавов

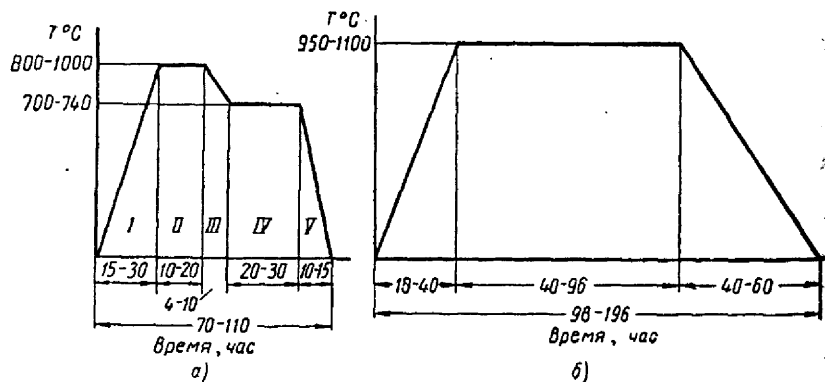


Рис. 74. График отжига белого чугуна на ковкий: а) на черносердечный чугун; б) на белосердечный чугун

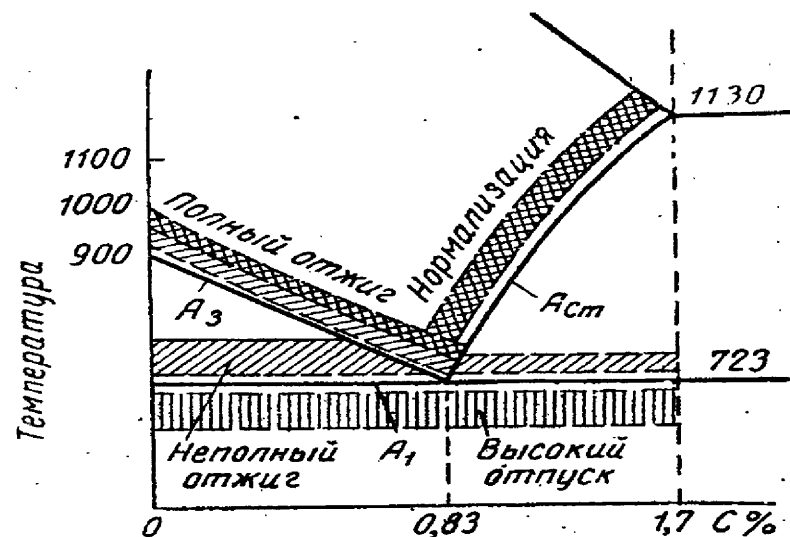


Рис. 75. Участок диаграммы состояния железо-цементит: температурные пределы полного отжига,

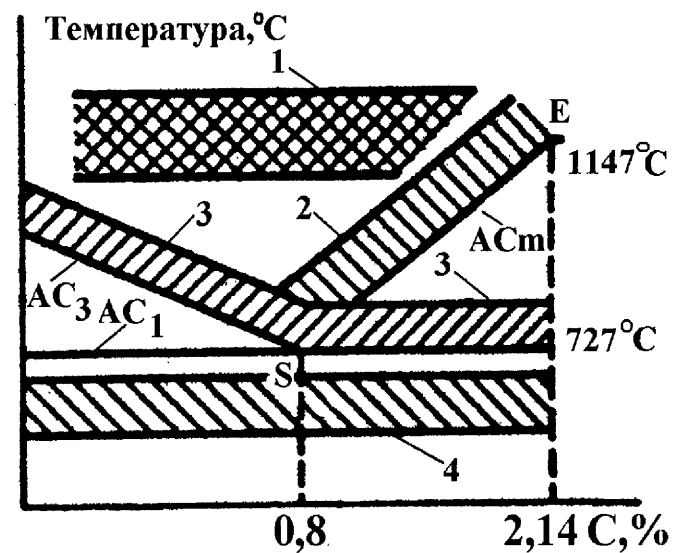


Рис. 76. Диаграмма различных видов отжига и нормализации стали: 1 - диффузионный отжиг; 2 - нормализация; 3 - полный и неполный отжиг; 4 - рекристаллизационный отжиг

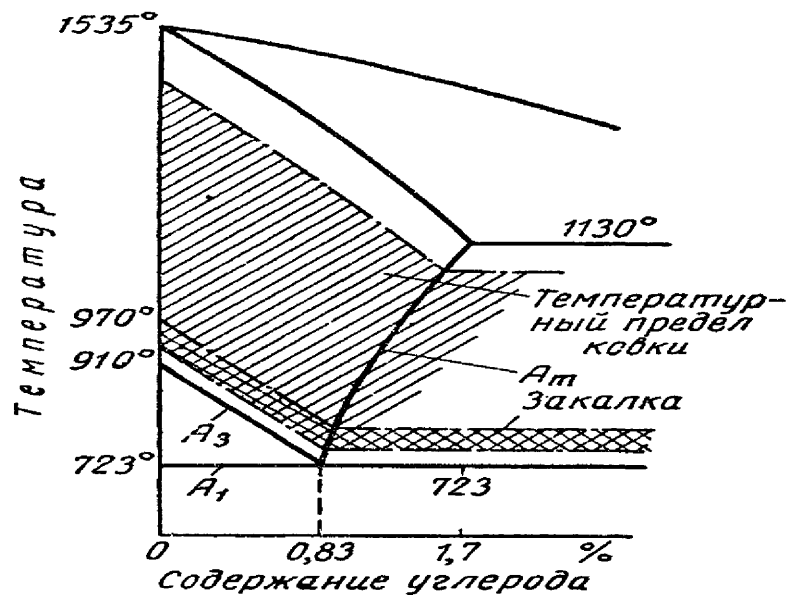


Рис. 77. Участок диаграммы состояния железо-цементит: ковка и закалка стали

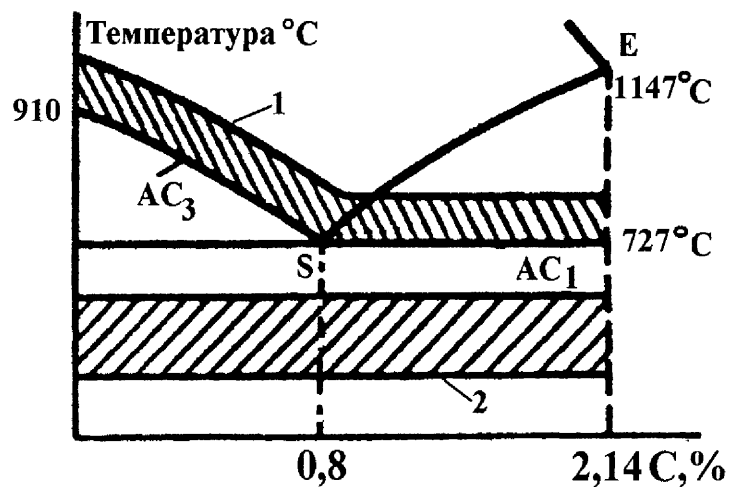


Рис. 78. Диаграмма закалки и отпуска стали: 1 - закалка; 2 - отпуск

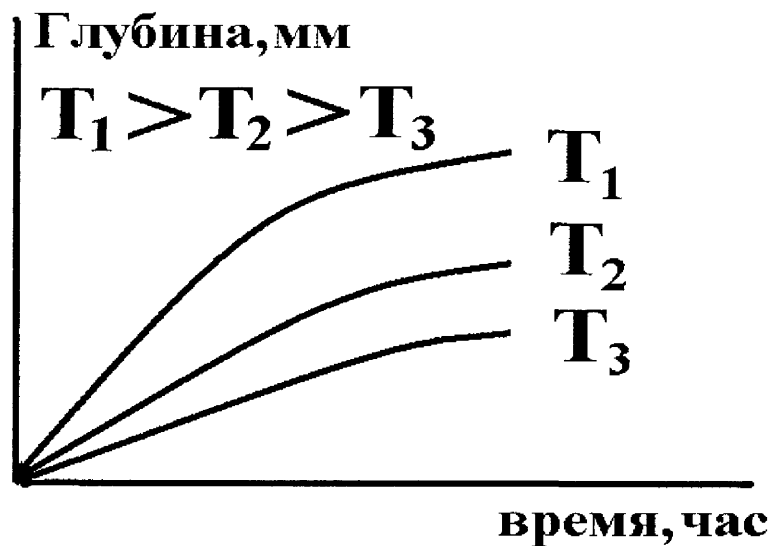


Рис. 79. Глубина проникновения в поверхностный слой атомарного углерода при цементации с твердым карбюризатором

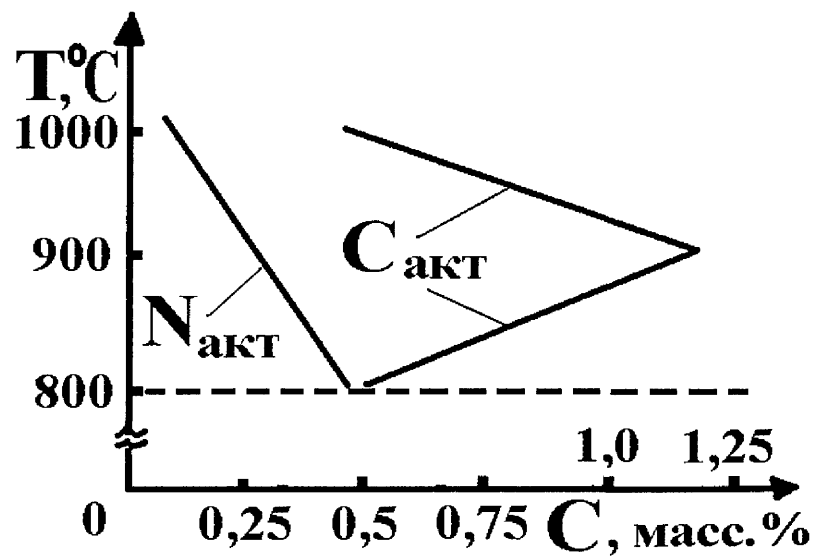


Рис. 80. Насыщение поверхностного слоя атомарным углеродом и азотом при газовой нитроцементации

Таблица 15

Маркировка и характеристики углеродистых сталей обыкновенного качества

Группы	Гарантируемые свойства в состоянии поставки	Марки (с учетом степени раскисления)	Категория
А	Механические свойства	Ст0, Ст1кп, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гис, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гис, Ст6пс, Ст6сп	1, 2, 3
Б	Химический состав	БСт0, БСт1кп, БСт1сп, БСт2кп, БСт2пс, БСт3кп, БСт3пс, БСт3сп, БСт3Гис, БСт4кп, БСт4пс, БСт6пс, БСт6сп	1, 2
В	Механические свойства и химический состав	ВСт1кп, ВСт1пс, ВСт1сп, ВСт2кп, ВСт2пс, ВСт2сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт3Гис, ВСт4кп, ВСт4пс, ВСт4сп, ВСт5пс, ВСт5сп	1, 2, 3, 4, 5, 6

Таблица 16

Химический состав нержавеющей сталей

Марка	Класс	Элементы			Прочие элементы
		С	Cr	Ni	
12X13	Мартенситно-ферритный	0,09-0,15	12-14	-	-
40X13	Мартенситный	0,36-0,45	12-14	-	-
12X17	Ферритный	≤ 0,12	16-18	-	-
08X17Т	Ферритный	≤ 0,08			

12X18H9	Аустенитный	≤ 0,12	17-19	8-10	-
12X18H10	Аустенитный	≤ 0,12		8-9,5	5. С-0,8 Ti
04X18H10	Аустенитный	≤ 0,04		9-11	-
10X14Г14НЗ	Аустенитный	0,09-0,14	12,5-14	2,8-3,5	13-15 Mn
09X15H8Ю	Аустенитно-мартенситный	≤ 0,09	14-16	7-9,4	0,7-1,3 Al
08X21H6M2Т	Аустенитно-ферритный	≤ 0,08	20-22	5,5-6,5	1,8-2,5 Mo 0,2-0,4 Ti

Таблица 17.

Механические свойства и применение углеродистой стали обыкновенного качества

Марка	Предел прочности на растяжение σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_b , %	Назначение
Ст0	310	20	Малонагруженные детали: шайбы, прокладки
Ст1	310-400	32	Малонагруженные детали: болты, шпильки, шайбы
Ст2	330-420	20	
Ст3	370-470	24	Среднеагруженные детали: рычаги, кронштейны, оси
Ст4	410-520	22	
Ст5	500-640	17	Среднеагруженные детали: валы, оси
Ст6	600	12	

Таблица 18.

Механические свойства качественной конструкционной стали

Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_B , %	Твердость, НВ	Назначение
08	330	33	131	Малонагруженные детали: шестерни, ролики, звездочки, оси, подвергающиеся цементации
10	340	31	143	
13	380	27	149	
20	420	25	163	
25	460	23	170	Средненагруженные детали: шестерни, валы, оси
30	500	21	179	
35	540	20	207	
40	580	19	217	Средненагруженные детали: шатуны, шестерни, валы, пальцы
45	610	16	229	
50	640	14	241	Высоконагруженные детали: муфты, шестерни, пружины, пружинные кольца
55	660	13	255	
60	690	12	255	Рессоры, пружины, эксцентрики и другие детали, работающие в условиях трения
65	710	10	255	
70	730	9	269	
75	1100	7	285	
80	1100	6	285	
85	1150	6	302	
60Г	710	11	269	
70Г	800	8	285	

Таблица 19.

Улучшаемые легированные стали

Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_B , %	Ударная вязкость КС, МДж/м ²	Назначение
	Не менее			
40ХС	1250	12	0,35	Небольшие детали, работающие в условиях знакопеременных нагрузок повышенных напряжений
40ХФА	900	10	0,9	
30ХГСА	1100	10	0,5	Детали, работающие в условиях трения, и ответственные сварные конструкции, работающие при знакопеременных нагрузках и температуре до 200 ⁰ С
40ХН2МА	1100	12	0,8	Крупные особо ответственные тяжело нагруженные детали сложной формы

Таблица 20.

Применение коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей

Марка	Рабочая температура, град С, не более	Назначение
Коррозионностойкие		

12X13	450	Лопатки гидротурбин, компрессоров, клапанов и арматура для химической промышленности, предметов домашнего обихода
20X13	-	
30X13	450	Валы, болты, шестерни, пружины, работающие в условиях коррозионной среды и больших напряжений
40X13		Шарикоподшипники, пружины, режущий, хирургический и бытовой инструмент
04X18H10T	600	Конструкции и детали, изготавливаемые сваркой и штамповкой в машиностроении и химической промышленности
12X18H10T		
Жаростойкие		
40X9C2	850	Клапаны двигателей внутреннего сгорания
08X17T	900	Детали, работающие в среде топочных газов с повышенным содержанием серы
36X18H25C2	1100	Сопловые аппараты и жаровые трубы газотурбинных установок
Жаропрочные		
45X4H14B2M	800-900	Клапаны двигателей внутреннего сгорания большой мощности
08X16H13M2Б	600-700	Лопатки газовых турбин

Таблица 21

Прочностные свойства металлов и сплавов

№ п/п	Металл или сплав	σ_B кгс/м ²	№ п/п	Металл или сплав	σ_B кгс/м ²
1.	Сталь (Ст3)	3700-4900	7.	Медь (М-1)	2100-2400

2.	Сталь (Ст7)	7000-7500	8.	Латунь (Л-63)	3000-4000
3.	Дюралюминий (Д-16)	2200-4700	9.	Бронза	1800-3000
4.	Алюминий	800-1000	10.	Серый чугун (СЧ)	1000-1200
5.	Магниевый сплав на основе алюминия (МА 8м)	3200-3900	11.	Никель	4000-5000
6.	Титановый сплав (ОТИ-1)	3000-3200	12.	Оцинкованная сталь	3700-4900

Таблица 22.

Высокопрочные легированные стали

Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_B , %	Ударная вязкость КС, МДж/м ²	Назначение
	не менее			
Комплекснолегированные стали				
30ХГСН2А	1850/1650	13/9	0,55/0,62	Особо ответственные тяжело нагруженные детали, работающие в условиях резко меняющихся нагрузок (например, в авиационном строении детали фюзеляжа и шасси)
40ХГСН3ВА	2000/1850	11/12	0,45/0,5	
Мартенситостареющие стали				

H12K15M10	2500	6	0,3	Особо ответственные тяжело нагруженные детали
H18K9M5T	2100	8	0,5	

Таблица 23.

Цементируемые легированные стали

Марка	Предел прочности на растяжение σ_b , МПа	Относительное уд- линение δ_b , %	Ударная вязкость КС, МДж/м ²	Назначение
	не менее			
15 ХА	700	12	0,7	Небольшие детали, рабо- тающие в условиях трения при средних давлениях и скоростях
18ХГ	900	10	-	Ответственные детали, рабо- тающие при больших скоро- стях, высоких давлениях и ударных нагрузках
25 ХГМ	1200	10	0,8	
20 ХН	800	14	0,8	Крупные ответственные тя- желонагруженные детали
20Х2Н4А				
18Х2Н4МА	1150	12	1,0	Крупные особо ответствен- ные тяжело нагруженные де- тали, работающие при боль- ших скоростях с наличием вибрационных и динамиче- ских нагрузок

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Наряду с железом важное место в ассортименте конструкционных материалов современной техники занимают никель, алюминий, медь, титан и некоторые другие металлы. На поверхности алюминия, титана, хрома, кремния, вольфрама, молибдена при контакте их с агрессивными водными средами образуются защитные пленки. Оксидные пленки последних трех металлов отличаются особенно высокой устойчивостью к воздействию очень кислых сред: этим объясняется высокая коррозионная стойкость сплавов этих металлов в особо агрессивных средах. Хорошей стойкостью в кислых средах обладают также сплавы никеля, некоторые даже при низком содержании в агрессивной среде кислорода. *Нержавеющие стали.* Имеется три основных типа нержавеющей сталей: мартенситные и ферритные, содержащие от 11 до 18 % Сг, и аустенитные, содержащие от 17 до 26 % Сг и от 8 до 11 % Ni. Наибольшей стойкостью к общей коррозии характеризуются аустенитные стали. Наилучшими коррозионными свойствами нержавеющей стали обладают в условиях полной аэрации коррозионной среды или в окислительных средах, т. е. в условиях, когда имеется гарантия поддержания их в пассивном состоянии. В некоторых средах эти стали подвержены питтинговой, щелевой и межкристаллитной коррозии, а также коррозионному растрескиванию. Они устойчивы к атмосферной коррозии, действию азотной кислоты, некоторых концентраций серной кислоты, многих органических кислот и при определенных условиях сернистой кислоты и щелочей. *Никель и его сплавы.* Никель устойчив к воздействию горячих и холодных щелочей, разбавленных неокисляющих органических и неорганических кислот, а также к воздействию атмосферы. Легирование медью улучшает его стойкость в восстановительных средах, а также к питтинговой коррозии в морской воде. При легировании хромом возрастает сопротивление к воздействию окислительных сред, а при легировании молибденом — к воздействию восстановительных сред; одновременно хромом и молибденом улучшают стойкость и в восстановительных, и в окислительных средах. *Алюминий и его сплавы.* Алюминий обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и во многих других агрессивных средах, включая уксусную и азотную кислоты, атмосферу серы и сернистой кислоты. Алюминий легируют небольшими количествами других металлов, главным образом для улучшения механических и некоторых физических свойств. Сплавы Al-Mg и Al-Mn обладают достаточно высокой коррозионной стойкостью, уступающей, однако, стойкости сплавов Al-Mn-Si и Al-Si. Наименее стойкими являются сплавы, содержащие медь. *Медь и ее сплавы.* Сама медь устойчива к воздействию морской воды, горячей и холодной пре-

сной воды, деаэрированных растворов неокисляющих кислот и атмосферы. Некоторые легирующие добавки улучшают ее коррозионную стойкость, а также механические и некоторые физические характеристики. Благодаря этому, например, алюминиевая латунь и купроникель (сплав с никелем) используются для производства охлаждающих конденсатных труб, а алюминиевая бронза — для производства корпусов насосов, травильных ванн и корабельных гребных винтов. *Титан и его сплавы* обладают весьма высокой коррозионной стойкостью в морской воде и атмосфере, в том числе и атмосфере промышленных зон. В дополнительной защите не нуждается. Благодаря высокой химической стойкости во многих агрессивных средах химических производств сплавы титана широко используются в химическом машиностроении.

Метод поверхностного легирования или металлизации. Суть его состоит в том, что на поверхности защищаемого изделия или детали в результате нагрева в контакте с порошком цинка (диффузионное цинкование), порошком алюминия (алитирование) или газообразным соединением хрома (диффузионное хромирование) образуется сплав с высокой коррозионной стойкостью. Таким путем удается получать сплавы значительной толщины. Этот метод привлекает прежде всего тем, что дорогие и дефицитные легирующие компоненты, такие как хром или молибден, расходуются на повышение коррозионной стойкости только того относительно тонкого слоя конструкционного материала, который в действительности обеспечивает коррозионную стойкость всего изделия. Защитные покрытия из хрома, никеля, олова, цинка и кадмия. Хромовые покрытия широко используются, например, для защиты и придания привлекательного декоративного вида деталям автомобилей, изготовленным из стали и сплавов на основе цинка. Благодаря высокой способности хрома пассивироваться (покрываться защитной окисной пленкой) такие покрытия в случае их сплошности обладают высокой защитной способностью. Однако, как правило, они содержат трещины. Поэтому в практике используют комбинированные покрытия: защищаемую деталь сначала покрывают никелем и только затем хромом. Во время эксплуатации никель защищает лежащий под ним материал в трещинах хромового покрытия. За последние десятилетия были разработаны различные комбинации никель-хромовых покрытий, обеспечивающих хорошую защиту от атмосферной коррозии. Для любого металла имеется некоторая критическая влажность воздуха, ниже которой металл не подвергается атмосферной коррозии. Для стали, меди, никеля и цинка критическая влажность находится в пределах от 50 до 70 % относительной влажности. Покрытие цинком (цинкование) используется для защиты изделий из железа и стали против атмосферной коррозии, воды и ряда нейтральных растворов солей и может служить подслоем под лаки и краски. Наносится цинк на изделие путем погружения их на 15-20 сек. в расплавленный цинк при 440-460°C. Для цинкова-

ния используется чистый цинк с добавлением 0,15-0, 2% алюминия или 1-3% олова. Свинцом покрывают изделия из черных металлов (мешалки, краны, вентили, резервуары, арматура) для защиты от воздействия серной кислоты, сернистых газов, растворов солей). Свинцевание широко применяется в химическом машиностроении. Так как расплавленный свинец не смачивает изделий из черных металлов, его наносят на подлог из олова, сурьмы или в расплавленный свинец вводят металлы, которые растворимы как в железе, так и в свинце (олово и др.). Лужение применяется главным образом для получения белой жести, защиты медных проводов от воздействия серы, а также при местной защите поверхности изделий при азотировании. Из белой жести изготавливают молочную посуду, тару для хранения и транспортировки пищевых продуктов, поскольку продукты коррозии олова нетоксичны.

Покрытие алюминием изделий из железа проводится с целью повышения паростойкости и устойчивости против атмосферной и газовой коррозии. Алюминием покрывают впускные и выпускные клапаны автомобилей и другие изделия.

Алюминий и его сплавы

Физические свойства:

$$\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$$

$$T_{пл} = 660^\circ \text{C}$$

$$HВ = 20$$

$$\delta = 45\%$$

$$\sigma = 80 \text{ МПа}$$

Деформируемые сплавы алюминия: Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu-Mg-Mn, Al-Cu-Si, Al-Cu-Mg-Ti...

Дуралюмины: Al-Cu-Mg-Mn.

Маркировка:

D1	-	} дуралюмины, 410 МПа; относительное удлинение -15%
D16	-	

AK4	-	} ковочные сплавы
AK6	-	

AL2	-	} литейные алюминиевые сплавы
AL3	-	

САП1 – } спеченный алюминиевый порошок. Чем меньше Al_2O_3 в пудре,
 САП2 – } тем выше пластичность и ниже прочность.

Силумины – литейные сплавы с повышенным содержанием кремния (4÷12%).

Магний и его сплавы

Физические свойства:

$\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$

$T_{пл} = 650^\circ \text{C}$

НВ = 30

$\delta = 5\%$

Решетка – ГПУ.

Маркировка:

МЛ12 – } сплавы Mg с PЗМ и Zr (деформируемые)
 МЛ15 – }

Деформируемые сплавы подвергаются ковке, штамповке, прокатке, прессованию. Литейные сплавы (МА) – хорошая жидкотекучесть.

Медь и ее сплавы

Физические свойства:

$\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$

$T_{пл} = 1083^\circ \text{C}$

НВ = 8

$\sigma = 40 \text{ МПа}$

Латуни – медные сплавы, содержащие до 45% Zn – простые и сложные.

Специальные латуни – содержат, кроме Zn, другие элементы.

Бронзы – сплавы меди с оловом, а также все сплавы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов:

- оловянные;
- алюминиевые;
- бериллиевые;
- кремниевые;
- марганцевые.

Маркировка:

Латуни:

Л96	–	латуни с содержанием Cu: (остальное – цинк)	<table border="0"> <tr><td>96%</td></tr> <tr><td>80%</td></tr> <tr><td>62%</td></tr> </table>	96%	80%	62%	
96%							
80%							
62%							
Л80	–						
Л62	–						
ЛС74-3	–	специальные латуни	свинцовая	<table border="0"> <tr><td>74% Cu, 3% Pb</td></tr> <tr><td>70% Cu, 1% Sn</td></tr> <tr><td>77% Cu, 2% Al</td></tr> </table>	74% Cu, 3% Pb	70% Cu, 1% Sn	77% Cu, 2% Al
74% Cu, 3% Pb							
70% Cu, 1% Sn							
77% Cu, 2% Al							
ЛО70-1	–	оловянистая					
ЛА77-2	–	алюминиевая					

Бронзы:

Бр ОЦ10-2 – бронза оловянистая 10% Sn, 2% Zn

Бр А7 – бронза алюминиевая

Бр АЖН10-4-4 – специальная бронза 10% Al, 4% Fe, 4% Ni

Медно-никелевые сплавы:

мельхиор – 30% Ni, 1% Fe, 1% Mn

капель – ~ 44% Ni, до 1% Mn

константан – ~ 40% Ni, 1–2% Mn

манганин – ~ 3% Ni, ~ 12% Mn

Титан и его сплавы

Физические свойства:

$\rho = 4540 \text{ кг/м}^3$

$T_{пл} = 1668^\circ \text{C}$

$\delta = 25\%$

$\sigma = 500 \text{ МПа}$

Сплавы на основе Ti получают плавлением измельченной губки с добавлением легирующих элементов.

Маркировка:

BT-5, BT 5-1	–	титановые сплавы, подразделяющиеся на деформируемые и литейные
OT4, OT4-1	–	
BT4, 8, 9, 15	–	
BT 1-0-0	–	йодистый (чистейший) титан, примесей < 0,1%

Никель и его сплавы

Нимоники – жаропрочные стали с повышенной концентрацией Ni.
ЮН14ДК25А – постоянный магнит. Пермаллой – повышенное значение индукции в слабых магнитных полях.

ВНК1 – сплавы на основе композитных материалов.

НЦ 600, 400 – никель-цинковые ферриты.

36Н – инвар
29НК – ковар
47НД – платинит

} инварные сплавы (25–45% Ni)

ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ

Физические свойства:

Nb: T_{пл} = 2168° С

Ta: T_{пл} = 2596° С

Mo: T_{пл} = 2625° С

Cr: T_{пл} = 1875° С

W: T_{пл} = 3410° С

Тугоплавкими считаются металлы, T_{пл} которых выше 1539° С, используются как жаропрочные в ракетостроении, атомной промышленности, температурные интервалы: 1500 – 2000° С.

Mo, Cr, W – жаропрочные;

Nb, Ta – высокопластичные, хорошо свариваются

Nb – теплообменники атомных реакторов

ПОРОШКОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Химические методы получения порошковых композиций – восстановлением из окислов, электролизом водных растворов азотнокислых, серно-кислых и др. солей металлов, температурным разложением карбониллов металлов.

Механические методы получения порошковых композиций – дроблением (на мельницах и т. п.), распылением расплава металла воздухом или аргоном и др.

Применение:

– антифрикционные (Fe, Al, Cu, графит и сульфиды) – втулки и подшипники скольжения;

– фрикционные (Fe–Cu, карбиды кремния и бора) – диски, сегменты в тормозных узлах;

– пористые (Ni, Ti–Al–Fe, коррозионностойкие стали, бронза и др.) – пористые пластины и мембраны для очистки воды от газов и твердых примесей;

– тяжелый сплав вольфрама (W, Ni, Cu и др.) – балансиры, контейнеры для хранения изотопов

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Таблица 24.

Загрязнение окружающей среды сталелитейными заводами
(по данным "Металлы Евразии" по состоянию на начало 2004 г.)

Предприятия/показатели	Пыль, кг/тонна стали	SO ₂ , кг/тонна стали	Оксиды азота, кг/тонна стали	Сброс загрязн. вод, куб. м /тонна стали
Магнитогорский меткомбинат	7,3	4,1	2,8	Н/д
Северсталь	5,18	3,2	2,6	7,16
ОЭМК	1,64	0,25	2,8	0,97
Hoogovens (Голландия)	0,4	1,1	1,2	Н/д
Voest Alpine (Австрия)	0,52	0,63	0,61	2,5

Металлургия предполагает выбросы в атмосферу ряда вредных веществ: бензопирен, фториды, соединения марганца, ванадия, хрома. На долю предприятий черной металлургии приходится 25% от общего выброса всех промышленных процессов и 50% всего выброса окислов серы. Черная металлургия использует 25% от всей потребляемой промышленностью России пресной воды. В мурманской области (расположена Кольская ГМК - дочернее предприятие ГМК "Норильский Никель") детская смертность от онкологии в 1,9 раза выше, чем по России. Наблюдается увеличение врожденных аномалий у детей, рожденных в городах, где расположены горно-металлургические производства: Мончегорск, Заполярный, Никель.

ГЛАВА 5. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

К неметаллическим материалам относят пластмассы, древесину, клеи, резиновые, силикатные, лакокрасочные, композиционные, прокладочные, уплотнительные и изоляционные материалы. В машиностроении неметаллические материалы широко применяют для изготовления из них различных изделий и как заменители металлов и их сплавов. Обеспечивая необходимую механическую прочность и небольшую плотность изготавливаемых из них изделий, неметаллические материалы, кроме того, придают им химическую стойкость, устойчивость к воздействию растворителей, водо-, газо-, и паронепроницаемость, высокие изоляционные свойства и другие ценные качества.

Высокомолекулярные соединения

Высокомолекулярные соединения – подвергаются механической обработке, они – диэлектрики, поддаются литью, обладают невысокой усадкой, пластичностью, имеют хорошую коррозионную стойкость, небольшой удельный вес. Применение: изготовление корпусов приборов, штурвалов автомобилей, рукояток рычагов управления, деталей остекления и изоляторов и многое другое.

Получение высокомолекулярных соединений: полимеризации и поликонденсации.

Полимеризация – химический состав полимера и мономера одинаков (используется лишь один мономер), не выделяется побочных веществ. Механизмы полимеризации: ступенчатый, цепной.

Ступенчатый – за счет осуществления перемещения атомов водорода в цепочке мономера. Промежуточные соединения относительно стабильны и могут быть выделены и использованы самостоятельно.

Цепной – наличие активных молекул, которые, соударяясь с другими молекулами, активизируют их и образуют цепочку ВМС.

Поликонденсация – химический состав полимера и мономера неодинаков (используются два и более мономеров). Выделяются побочные продукты: вода, спирты, аммиак и др.

Пластмассы – имеют в своем составе ВМС. Отличаются пластичностью, могут проводить электричество, терлостойкие, как правило, легкодеформируемые и сохраняют форму после деформации.

Состав пластмасс:

- ВМС;
- наполнитель;
- пластификатор;
- краситель;
- антиокислители

Полимерные пластмассы: полиэтилен, полистирол; поликонденсационные слоистые материалы: фаолит, текстолит, гетинакс

Силикатные материалы

Материалы, имеющие в основе группу SiO_4^{2-} , отличаются высокой твердостью, термостойкостью, низкой химической активностью. Материалы силикатной технологии условно разделяют на 3 группы: керамические, вязущие, стекло и ситаллы.

Керамика – пластичный материал, после отжига становится твердым.

Вязущие – при различных условиях затвердевают и сохраняют твердость в тех же условиях, в которых твердеют.

Стекло – группа аморфных термопластичных материалов, получаемых путем переохлаждения расплавов исходных неорганических веществ или их смесей.

Ситаллы – стекломасса при полной или частичной кристаллизации. Обладают близким нулю коэффициентом теплового расширения, высокой прочностью и высокой коррозионной стойкостью.

Классификация керамических материалов:

- **Строительная:** кирпичи, дренажная керамика
- **Облицовочная:** плитка, изразцы
- **Тонкая:** фарфор, фаянс
- **Специальная**
- **Огнеупорная:** шамоты и динасы

Классификация вязущих материалов:

- **Воздушно-твердеющие:** известь, гипс
- **Гидро-твердеющие:** портландцемент, шлакоцемент, романцемент

- Кислотоупорные (кварц или диабаз с Na_2SiF_6 и растворимым стеклом)

Классификация стекла:

- по составу:

- Однокомпонентное (например, кварцевое);
- растворимое (двухкомпонентное);
- трехкомпонентное (например, известково-натриево);
- многокомпонентное;

-по применению:

- строительное и архитектурное;
- техническое;
- тарное;
- химико-лабораторное;
- бытовое;
- художественное;
- оптическое

Композиционные материалы

Композиционные материалы - искусственные материалы, получаемые сочетанием химически разнородных компонентов: матрица (для полимеров – связующее) и упрочнители.

Классификация:

- по характеру матрицы:

- полимерные
- керамические
- углеродные
- металлические

- по упрочнителю:

- карбоволокниты (углепласты)
- органоволокониты
- бороволокниты
- металлы, армированные волокнами

Резины

Резиновые материалы – продукт вулканизации смеси каучука с серой и добавками.

Классификация резин:

- общего назначения: НК, СКБ, СКС, СКИ
- специального назначения: маслобензостойкие, теплостойкие, светоозоностойкие, износостойкие, электротехнические

Лакокрасочные материалы (ЛКМ)

Лакокрасочные материалы – пленкообразующие материалы. Пленка – покрытие с функциями: электро- и водоизоляция, декоративная.

Требования к ЛКМ:

- высокая адгезия к защищаемой поверхности;
- гладкость;
- твердость;
- эластичность;
- низкая химическая активность.

Состав ЛКМ:

- пленкообразующие вещества;
- смолы (для увеличения адгезию);
- растворители (спирты, ацетон, скипидар);
- разбавители (бензол);
- пластификаторы (дибутилфталат) (для увеличения пластичности);
- красители;
- отвердители (для термоактивных связующих – амины);
- наполнители;
- специальные добавки

Классификация пленкообразующих материалов:

- синтетические смолы;
- эфир-целлюлозные;
- высыхающие растительные масла

Классификация по составу:

- лаки
- эмали
- грунты
- шпатлевки

ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Структура и строение пластических масс. *Пластические массы (пластмассы)* — неметаллические композиционные материалы на основе полимеров (смол), способные под влиянием нагревания и давления формироваться в изделия и устойчиво сохранять в результате охлаждения или отверждения приданную им форму. Для пластмасс характерны малая плотность, высокая коррозионная стойкость, в большинстве случаев низкий коэффициент трения, высокие электроизоляционные, теплоизоляционные и демпфирующие свойства, декоративность. Их недостатки: низкие теплоустойчивость и теплопроводность, гигроскопичность, склонность к старению и различным сред. Основу пластмасс составляют полимеры, от типа и количества которых зависят физические, механические и технологические свойства пластмасс. *Полимеры* - это высокомолекулярные соединения (рис. 36), имеющие линейную (а), разветвленную (б) или пространственную (в) структуру. Молекула полимера — это длинная цепь, состоящая из отдельных звеньев однотипных по химическому составу и строению (гомополимер) и разнотипных (сополимер). Полимер, у которого макромолекулы состоят из разнородных относительно крупных звеньев (осколков макромолекул), называют блок-сополимером. Если к макромолекулам прививаются "боковые" отростки макромолекул другого вещества, то получают привитые сополимеры. Создавая привитые сополимеры, можно получать материалы с новыми, заранее заданными свойствами. Полимеры могут находиться в аморфном и кристаллическом состояниях. При переходе полимера из аморфного в кристаллическое состояние существенно меняются его физико-

механические свойства, повышается прочность и теплостойкость. Под действием теплоты аморфные полимеры переходят из твердого (стеклообразного) состояния в высокоэластичное и вязко-текучее состояние. Теплостойкость полимерного материала характеризуется температурой стеклования t_g . Значение температур стеклования и текучести позволяет обоснованно назначать температурные интервалы формования изделий из полимеров. Некоторые полимеры с увеличением температуры разлагаются, не переходя в вязко-текучее состояние. *Линейные и разветвленные полимеры* служат основой термопластичных пластмасс (термопластов). Макромолекулы линейных полимеров представляют собой цепи, имеющие длину, в сотни и тысячи раз превышающую размеры поперечного сечения. При разветвленной структуре полимера макромолекул имеют боковые ответвления, длина и число которых могут быть различными. *Полимеры*, способные образовывать *пространственные структуры*, служат основой термореактивных пластмасс (реактопластов). Пространственные структуры получаются из отдельных линейных цепей полимеров в результате возникновения поперечных связей. При этом полимер становится полностью неплавким и нерастворимым. При редких связях возможно некоторое набухание под воздействием растворителя и незначительное размягчение при нагреве. Полимеры с течением времени могут значительно изменять свои свойства и стареть. При этом снижается механическая прочность, уменьшается эластичность, повышается хрупкость. Старение полимеров происходит в результате физико-химических процессов, в основном деструкции - разрыва химических связей в основной цепи макромолекул. *Деструкцию* полимеров вызывает нагрев, воздействие окислительных реагентов, облучение и т. д. *Механическая деструкция* происходит при истирании и разрыве полимерных материалов. *Термическая деструкция* зависит от структуры полимера и приводит к его распаду на исходные мономеры. *Химическая деструкция* возникает под влиянием кислорода воздуха и может ускоряться под действием света. Для замедления процесса старения в пластмассы добавляют различные стабилизаторы - органические вещества, которые уменьшают действие того или иного фактора. Так амины предохраняют полимеры от окисления; сажа, поглощая свет, служит светостабилизатором и т. д. Классификация пластмасс. В зависимости от вида связей между молекулами полимеров и их поведения при повышенных температурах пластмассы (табл. 25) разделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

Термопласты получают на основе полимеров, молекулы которых связаны слабыми межмолекулярными силами. Наличие таких межмолекулярных связей позволяет полимеру много раз размягчаться при нагревании и твердеть при охлаждении, не теряя свои первоначальные свойства. К термопластам относят полиэтилен, поливинилхлорид, винилпласты, капрон, полиамиды, органическое стекло и др. *Реактопласты* получают на основе полимеров, молекулы которых наряду с межмолекулярными силами могут связываться химически. Возникновение прочных химических связей в полимерах происходит при нагревании или при введении отверждающих добавок - отвердителей. *Отвердители* - вещества, а малых количествах (нескольких

процентов) вводимые в реактопласты для соединения полимерных молекул химическими связями. В результате введения отвердителя образуют пространственные молекулярные цепи, а молекулы отвердителя становятся частями этой цепи. При возникновении химических связей полимер превращается в жесткое неплавящееся и нерастворимое вещество. Примеры реактопластов: эпоксидные и полиэпоксидные смолы, фенопласты и другие полимеры. Пластмассы разделяют на *пластики* и *эластики*. По составу пластмассы разделяют на две группы: ненаполненные (только ВМС, без наполнителя) и наполненные (композиционные). *Ненаполненные пластмассы* — полиэтилен, полиамид, органическое стекло и др. *Наполненные пластмассы* — сложные композиции, содержащие кроме полимера различные добавки. Добавки позволяют изменять свойства полимера в нужном направлении. К добавкам относят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, катализаторы, красители отвердители и специальные добавки. *Наполнители* упрочняют материал, удешевляют его и придают ему специальные свойства, например повышают термостойкость, уменьшают усадку. В качестве наполнителей используют органические (древесная мука, целлюлоза, хлопковые очесы, хлопчатобумажная ткань, древесный шпон, бумага и т. д.) и неорганические (графит, тальк, асбест, кварц, слюда, стекловолокно, стеклоткань и др.) вещества. В пластмассе может содержаться до 70% наполнителей. *Пластификаторы* облегчают переработку пластмасс и делают их более эластичными. Кроме того, пластификаторы увеличивают гибкость, уменьшают хрупкость и улучшают формируемость пластмасс. Пластификаторы уменьшают межмолекулярное взаимодействие и хорошо совмещаются с полимерами. В качестве пластификаторов используют эфиры, дибутилфталат, касторовое масло и др. Их добавляют в пластмассы в количестве 10—20 процентов. *Стабилизаторы* — различные органические вещества, способствуют предотвращению старения пластмасс и сохранению их полезных характеристик. *Отвердители* ускоряют процессы отверждения смол и получения пластмасс. *Катализаторы* — вещества (известь, магнезия и др.), ускоряющие отверждение пластмасс. *Красители* — вещества (сурик, мумие, нигрозин и др.), придающие пластмассам требуемый цвет. *Специальные добавки* — вещества, которые служат для изменения или усиления какого-либо свойства. К ним относят смазывающие вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.), которые увеличивают текучесть, уменьшают трение между частицами композиций и устраняют прилипание к пресс-формам, уменьшают статические электрические заряды, уменьшают горючесть, защищают от плесени и т. д.

ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ПОЛИМЕРЫ И ПЛАСТМАССЫ.

Полиэтилен. Он обладает рядом ценных свойств; влаго- и газонепроницаем, не набухает в воде, эластичен в широком интервале температур, устойчив к действию кислот и щелочей, обладает очень хорошими диэлектрическими свойствами. Полиэтилен выпускают высокого давления (ВД), среднего давления и низкого давления (НД), различающиеся методом изготовления и физико-химическими свойствами. Полиэтилен высокого давления (ПВД) имеет температуру плавления 115°C, а полиэтилен низкого давления (ПНД) — 120—135°C. ПНД обладает большей механической прочностью и

жесткостью, чем ПВД, и используется для изготовления труб, шлангов, листов, пленки, деталей высококачественных установок и радиоаппаратуры, различных емкостей. Литьем изготавливают вентили, краны, золотники, зубчатые колеса, работающие с малой нагрузкой. ПВД применяют как упаковочный материал в виде пленки или в виде небьющейся химической посуды. Основной недостаток полиэтилена — его невысокая теплостойкость, изделия из него рекомендуются использовать при температуре не выше 80°C. Полиэтилен хорошо обрабатывается и перерабатывается всеми известными способами: литьем под давлением, вакуум-формованием, экструзией, механической обработкой, сваркой.

Поливинилхлорид (ПВХ). Пластифицированный поливинилхлорид называют пластиком, непластифицированный твердый листовый материал — винипластом. Пластмассы на основе ПВХ обладают хорошими диэлектрическими и механическими свойствами. Однако они имеют невысокую термостойкость: до 60°C. Поливинилхлорид не стоек к действию ароматических и хлорированных углеводородов и концентрированной азотной кислоты. Рабочая температура винипласта для нагруженных деталей от 0 до +40°C. Винипласт при пониженных температурах становится хрупким, при резких изменениях температуры коробится, а при нагреве до 40-60°C разупрочняется и теряет жесткость. Он не горит, но при температуре 120—140°C начинает размягчаться, что используется для сварки отдельных листов между собой. В пламени обугливается; температура разложения 160-200°C. Склонен к старению под влиянием атмосферных воздействий и химических реагентов, при этом приобретает повышенную хрупкость и пониженную прочность при разрыве. *Винипласт* выпускают главным образом в виде листов, труб, стержней, уголка. Изделия из винипласта изготавливают выдавливанием, штамповкой, гибкой механической обработкой, сваркой, склейкой. Склеивание осуществляют перхлорвиниловым клеем. Изгибание (гибку), штамповку, вытяжку можно проводить при нагреве (130°C). Из винипласта изготавливают емкости в химическом машиностроении, аккумуляторные баки и сепараторы для аккумуляторов, вентили, клапаны, фитинги для трубопроводов, крышки, пробки, плитки для футеровки электролизных и травильных ванн, детали насосов и вентиляторов и другие изделия. Изделия из винипласта не должны подвергаться толчкам и ударам при низких температурах, их прочность зависит от величины и продолжительности действия деформирующих усилий. Во все композиции на основе ПВХ вводят стабилизирующие вещества для защиты от теплоты и света. Пластикаты применяют для изоляции и оболочек проводов и кабелей, для производства медицинских изделий.

Полиамиды. Они отличаются сравнительно высокой прочностью и низким коэффициентом трения. Наибольшее распространение из полиамидов получил *капрон* как относительно дешевый и наименее дефицитный материал. Его устойчивостью в несколько раз выше, чем стали, чугуна и некоторых цветных металлов. Наилучшими антифрикционными свойствами обладает капрон с добавлением 3-5% графита. Ввиду низкой теплопроводности капрона (в 250—300 раз меньше, чем у металлов) при конструировании

нии подшипников необходимо принимать меры для обеспечения хорошего теплоотвода. Капрон отличается удовлетворительной химической стойкостью, а также стойкостью к щелочам и большому количеству растворителей (спирту, бензину и др.). Для изготовления деталей из капрона и других полиамидов используют метод литья под давлением. Капрон хорошо обрабатывается резанием, сваривается и склеивается. Из него выполняют детали антифрикционного назначения, подшипники, зубчатые колеса, кронштейны, рукоятки, крышки, корпуса, трубопроводную арматуру, прокладки, шайбы и т. п.

Полистирол. Это бесцветный и прозрачный материал, обладающий абсолютной водостойкостью, высокими электроизоляционными свойствами, светостойкостью и твердостью. Полистирол стоек к плесени, к щелочным и кислым средам и растворяется в ароматических и хлорированных углеводородах. Его диэлектрические свойства мало изменяются при изменении температуры от -80 до $+110^{\circ}\text{C}$. К недостаткам полистирола относят его малую теплостойкость, хрупкость и подверженность к старению и растрескиванию. Для предотвращения растрескивания в полистирольные материалы вводят пластификаторы или минеральные наполнители. Перерабатывается полистирол методом литья под давлением, экструзией и пневматическим формированием. Изделия из полистирола можно подвергать любым видам механической обработки. Из полистирола изготавливают панели, лабораторную посуду, катушки. Из блочного полистирола экструзией (или выдавливанием) получают трубки, стержни и другие профильные изделия, пленки, ленты и нити различной толщины. Полистирольные трубки применяют для изоляции высокочастотных проводов, изготовления деталей радиолокационной аппаратуры, изоляторов. Этот полимер широко используют для изготовления бытовых изделий; в технике широко применяются сополимеры стирола. Сополимеризация улучшает свойства чистого полимера (механическую прочность, теплостойкость). Сополимеры стирола применяют с метилметакрилатом (марки МСН, МС-2 и МС-3). При сополимеризации стирола с нитрильным каучуком получают материал ПКНД, обладающий большой гибкостью. Из него изготавливают ударостойкие корпуса для машин методом литья под давлением или глубокой вытяжки. Более прочный материал СНП (сополимер стирола с акрилонитрилом, модифицированный нитрильным каучуком) выпускают в виде листов и крошки, перерабатывают в изделия методом литья под давлением и штамповкой изделий из листов.

Фторопласты. Эти полимеры состоят преимущественно из углерода и фтора. Наибольшее применение в промышленности получили непрозрачные для света фторопласт-4 и фторопласт-3. Фторопласт-4 химически абсолютно стоек. На него оказывают действие только расплавы солей щелочных металлов и фтор при высоких температурах. Коэффициент трения фторопласта-4 в семь раз ниже коэффициента трения хорошо полированной стали, что способствует использованию его в машиностроении для трущихся деталей без применения смазки, однако при незначительных нагрузках, так как фторопласт-4 обладает хладотекучестью, увеличивающейся с повышением температуры. Фторопласт-4 работает в интервале температур от -250 до $+260^{\circ}\text{C}$. Фторопласт-4 не перерабатывается обычными методами для пере-

работки термопластов, так как не переходит в вязко-текучее состояние. Изделия из фторопласта-4 получают спеканием при температуре 350 — 370°C порошка, спрессованного по форме детали. Фторопласт-3 при нагреве до температуры 210°C размягчается и плавится, что дает возможность перерабатывать его методом литья под давлением. Фторопласт-3 может работать в интервале температур от -80 до $+70^{\circ}\text{C}$; он химически стоек, но набухает в органических растворителях; более тверд и механически прочен, чем фторопласт-4, не обладает холодной текучестью. Фторопласты широко применяются для изготовления уплотнительных деталей — прокладок, набивок, работающих в агрессивных средах, деталей (труб, кранов, гибких шлангов и т. д.), насосов, тары пищевых продуктов, самосмазывающихся вкладышей подшипников, используют в восстановительной хирургии. Фторопласты применяют для защиты металла от воздействия агрессивных сред. Покрытие производится из суспензий или эмульсий с последующим спеканием.

Полиметилметакрилат. Это термопластический материал (органическое стекло), прозрачный, твердый, стойкий к атмосферным воздействиям, воде и ко многим минеральным и органическим растворителям, обладает высокими электроизоляционными и антикоррозионными свойствами. Он выпускается в виде прозрачных листов и блоков.

Органические стекла выгодно отличаются от минеральных стекол низкой плотностью, отсутствием хрупкости вплоть до -50 — -60°C , более высокой светопрозрачностью, упругостью, легко формируются в детали сложной формы, хорошо склеиваются, свариваются, подвергаются простой механической обработке. Однако по сравнению с минеральными стеклами, органические стекла обладают более низкой поверхностной твердостью. Поэтому поверхность органического стекла легко повреждается, и его оптические свойства нарушаются. Теплостойкость органического стекла ниже, чем у минерального; кроме того, органическое стекло легко загорается. Крупные изделия сферической формы изготавливают из разогретых листов методом формирования при помощи вакуума. Мелкие изделия получают штамповкой заготовок из нагретого листа, вытяжкой, и выдуванием горячим воздухом. Органическое стекло растворяется в дихлорэтаноле. Раствор органического стекла в дихлорэтаноле используют в качестве клея, для соединения стекла, сваривают методом контактной сварки при 140 — 150°C и давлении $0,5$ — 1 МПа. Органическое стекло применяется для изготовления санитарно-технического оборудования, светильников, фонарей, деталей приборов управления.

Поликарбонаты. Это термопластические материалы, обладающие ценными свойствами: ударной прочностью, теплостойкостью и высокой поверхностной твердостью. Они водостойки и стойки к окислительным средам при повышенных температурах. Поликарбонаты совершенно прозрачны и могут быть использованы вместо силикатного стекла. Поликарбонаты применяют для изготовления зубчатых колес, клапанов, втулок, кулачков и других подобных деталей. Поликарбонаты перерабатывают в изделия всеми способами, применяемыми для изготовления, изделий из термопластов.

Пентапласт. Это полимер, отличающийся химической стойкостью и атмосферостойкостью. По водостойкости пентапласт аналогичен фторопластам, полистиролу и полиэтилену. Из пентапласта изготавливают химически стойкие трубы, подшипники, детали часовых механизмов.

Полиимиды. Это термопластичные пластмассы, обладающие хорошими электрическими и механическими характеристиками и высокой стойкостью к нагреванию (220-250°C). Полиимидные пластмассы могут использоваться при температурах до -155°C. Полиимиды химически стойки. Они не растворяются в большинстве органических растворителей, на них не действуют разбавленные кислоты, минеральные масла и вода. Разрушение полиимидов вызывают концентрированные кислоты и щелочи и перегретый водяной пар. Из полиимидов получают электроизоляционные пленки светло-желтой или коричневой окраски. Полиимидные пленки выпускаются толщиной от 5 до 100 мкм и более. На основе полиимидов изготавливают различные изделия электроизоляционного и конструкционного назначения. Для этого используют как .. чистые полиимиды, так и наполненные стекловолокном и другими нагревостойкими наполнителями. Изделия из полиимидов изготавливают литьем и прессованием при температурах 350-400°C.

ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРЫ И ПЛАСТМАССЫ.

Фенопласты. Их изготавливают на основе фенолформальдегидных смол, они широко распространены благодаря простому и дешевому способу получения сырья и его переработки, а также возможности изготовления из этих материалов сложных изделий. Фенопласты отличаются высокой прочностью, стойкостью к кислотам, щелочам и органическим растворителям, теплостойкостью, а также наличием диэлектрических свойств. Из фенолформальдегидных смол с добавкой наполнителей изготавливают пресс-порошки, волокнистые и слоистые пластики. **Текстолит** - слоистая пластмасса, где в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, в качестве связующего — фенолформальдегидная смола. **Гетинакс** - слоистая пластмасса на основе фенолформальдегидной смолы и листов бумаги. Гетинакс выпускают под марками А, Б, В, Г. Применяют главным образом как электроизоляционный материал. Выпускают также декоративный гетинакс для отделочных работ. Из гетинакса готовят фасонные изделия технического и бытового назначения. **Асботекстолит** - слоистый пластик на основе асбестовой ткани, пропитанный фенолформальдегидной смолой, устойчив к резким колебаниям температуры и влажности, бензостоек, отличается высокими фрикционными, электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами. Из асботекстолита выполняют тормозные колодки и диски сцепления.

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ И ФОЛЬГИРОВАННЫЕ ПЛАСТМАССЫ.

Газонаполненные пластмассы. К ним относят легкие пластмассы — пенопласты и поропласты, состоящие из мельчайших ячеек или пор, отделенных друг от друга тонкой пленкой полимера. Материалы, состоящие из замкнутых, не сообщающихся ячеек, называют **пенопластами**, а материалы, в которых преобладают сообщающиеся между собой поры, - **поропластами**. В тех случаях, когда от материала требуются высокие тепло- и электроизоляционные свойства и водонепроницаемость, следует применять пенопла-

сты. Для звукоизоляции используют поропласты. Пено- и поропласты получают насыщением расплавленной смолы вспенивателями, при этом происходит вспенивание полимера. В пенопластах 90-95% объема занимают газы.

Фольгированные пластмассы - слоистый пластик (гетинакс, стекло-текстолит), облицованный с одной или двух сторон медной фольгой толщиной 35 или 50 мкм. Медную фольгу получают электролитическим осаждением, что обеспечивает ей однородный состав. Для улучшения сцепления с пластиком одну сторону фольги обрабатывают в щелочном растворе (оксидируют). Склеивание фольги с пластиком производят клеем БФ-4 в процессе прессования. Фольгированные пластики (табл. 26) должны удовлетворять требованиям, связанным с технологией производства печатных схем, и условиям их эксплуатации. Фольгированный пластик должен выдерживать воздействие повышенных температур в процессе производства печатных плат (взаимодействие припоя при пайке схем) и обеспечивать достаточную прочность сцепления фольги при длительной эксплуатации изделий. Фольгированные пластмассы имеют специальное назначение: их применяют при изготовлении плат печатным монтажом, якорей электродвигателей, кодовых переключателей и других деталей.

РЕЗИНЫ И РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Резиновые материалы. Резина — продукт химического превращения (вулканизации) синтетического и натурального каучуков. Взаимодействуя с вулканизирующими веществами, каучуки претерпевают внутренние химические изменения, в результате которых образуется резина. Резина обладает высокой эластичностью, что позволяет изделиям из нее выдерживать значительные деформации. Эластичность сочетается с высоким сопротивлением разрыву, истиранию, способностью поглощать колебания, газо- и водонепроницаемостью и ценными диэлектрическими свойствами. Резина - это смесь различных компонентов, соотношением которых определяются свойства резиновых изделий. К составляющим резиновых смесей относятся каучук, вулканизирующие вещества, ускорители вулканизации, наполнители, противостарители, мягчители и красители. Основой резиновых смесей служит натуральный или искусственный каучук. Каучук подвергают вулканизации — горячей или холодной для придания материалу требуемой прочности, упругости и т. д. В качестве вулканизирующего вещества в каучук вводят 2—3% серы. Так как вулканизация — длительный процесс, то для его ускорения вводят 0,5—1,5% ускорителей вулканизации (окись магния, окись цинка и др.). В качестве активаторов ускорителей применяют цинковые белила и магнезию. Для придания необходимых физико-механических свойств резиновым изделиям в композицию вводят наполнители. Наполнители делят на порошкообразные и ткани. К порошкообразным наполнителям относят сажу, каолин, углекислый марганец, мел, тальк, сернокислый барий и др. Тканевыми силовыми наполнителями служат корд и рукавные ткани. При окислении каучука резины стареют, становятся хрупкими, теряют эластич-

ность, т.е. при старении необратимо изменяются физико-механические свойства. Поэтому в состав резиновых смесей вводят противостарители: вазелин, воск, парафин, ароматические амины и др. Для облегчения совмещения каучука с порошкообразным наполнителем и придания необходимой мягкости добавляют мягчители: стеариновую и олеиновую кислоты, канифоль, парафин, сосновую смолу. Красители -охру, ультрамарин, пр. вводят в количестве до 10% массы каучука. При изготовлении резины и изделий из нее вначале получают сырую резину, представляющую собой смесь каучука с наполнителями и вулканизирующими веществами. Затем сырую резину вулканизируют, нагревая до 145-150°C. Горячую вулканизацию производят в специальных котлах в атмосфере насыщенного водяного пара при небольших давлениях либо в горячей воде или в горячем воздухе. Если процесс формирования резиновых изделий выполняют в металлических формах, то пресс-формы нагревают для совмещения формообразования с вулканизацией. При вулканизации каучук вступает в химическое взаимодействие с вулканизирующими веществами и образуется эластичная резина. В зависимости от вида каучука, количества и вида наполнителей получают изделия с самыми различными свойствами. Существуют резины кислотостойкие, терmostойкие и др. Свойства вулканизированных резин определяются характеристикой каучуков. *Резины из СКВ* (синтетического бутадиенового каучука) имеют удовлетворительную механическую прочность и морозостойкость, ограниченную терmostойкость, сравнительно малую эластичность, легкую окисляемость, ограниченную химическую стойкость и газонепроницаемость. Резина применяется для изготовления почти всех видов резиновых деталей, особенно для изготовления автомобильных шин. *Полисульфидные резины* имеют невысокую прочность, морозостойкость и терmostойкость, повышенную бензо- и маслостойкость, высокую газонепроницаемость и применяются для изготовления шлангов, труб, рукавов, прокладок для бензина, масла и бензола. *Наиритовые резины* обладают высокой прочностью, терmostойкостью 110—120°C, малой набухаемостью в бензинах и маслах, достаточной атмосферостойкостью и химической устойчивостью. Они применяются преимущественно для изготовления маслоупорных и бензоупорных, а также терmostойких изделий: спецодежды, обкладки для химической аппаратуры и валов, транспортных лент, оболочки азростатов, противогазных шлемов, оболочки электрических кабелей, различных клеев и заменителей кожи. *Изопреновые резины* обладают высокой прочностью при растяжении и при истирании, эластичностью и морозостойкостью, ограниченной терmostойкостью (80—100°C), повышенной окисляемостью, набухаемостью в бензинах и маслах, ограниченной химической стойкостью и газонепроницаемостью, пригодны для изготовления изделий общего назначения. Из резины изготавливают ремни, ленты, манжеты, рукава, прокладки, шины, сальники, детали электрооборудования, предметы массового потребления и многое другое. При содержании в сырой резине более 25% вулканизирующих веществ после ее вулканизации получается эбонит (твердая резина). Эбонит обладает высокой химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами, легко обрабатывается, но имеет низкую терmostойкость. Применяют для производства деталей слаботочной аппаратуры, в химическом машиностроении и т.д.

Они предназначены для создания из различных материалов неразъемных соединений требуемой прочности. В общем виде такие соединения состоят из склеиваемых материалов и клеевого слоя между ними. Процесс склеивания основан на сцеплении клея с поверхностью материалов. Способ склеивания упрощает и ускоряет технологический процесс изготовления изделий. Клеевые соединения во многих случаях являются наиболее рациональными, а в некоторых случаях единственно возможными видами соединений. Клеи в основном представляют собой композиции на основе полимеров (табл. 27). При склеивании металлов предел прочности при сдвиге составляет для эпоксидных клеев - 10-13 МПа, полиамидных 15-30 МПа, полиуретановых - 10-20 МПа и фенольнокаучуковых - 10-15 МПа. При сжатии прочность клея больше в 10-100 раз, чем при растяжении. Прочность клеевого соединения существенно зависит от температуры. При этом большое влияние оказывает вид клея и характер напряженного состояния. Терmostойкость клеев такова: эпоксидный - 60-350°C, фенолформальдегидный - 60-100°C, полиимидный -300-375°C. Возрастающее значение клеев связано прежде всего с теми преимуществами, которые имеют клеевые соединения по сравнению с заклепочными, болтовыми, сварными и другими соединениями. Это, в первую очередь, возможность соединения между собой самых разнородных материалов. Современными клеями склеивают различные пластические массы, силикатные и органические стекла, натуральные и искусственные кожи, фарфор, керамику, бетон, каучуки и резины, изделия из бумаги, хлопчатобумажные и шерстяные ткани, изделия из синтетических волокон, различные породы дерева, а также сталь, серебро, медь, алюминиевые, магниевые, титановые сплавы и другие металлы, неметаллические материалы и их сочетания. Важным свойством клеевых соединений на основе синтетических клеев является их атмосферостойкость, способность противостоять коррозионным воздействиям и гниению. К числу преимуществ клеевых соединений можно также отнести: исключение изготовления отверстий под болты или заклепки, ослабляющие скрепляемые элементы; более равномерное распределение напряжений в соединениях; ровная поверхность клеевых деталей; относительно низкая стоимость производства клеевых деталей при массовом производстве. В то же время клеи не свободны от недостатков. Клеевые соединения обладают низкой прочностью при неравномерном отрыве; большинство клеев имеет также относительно низкую терmostойкость (до 350°C) вследствие органической природы основных компонентов клея. Синтетические клеи широко применяют для склеивания разнообразных материалов в деревообрабатывающей, обувной, автомобильной, химической, авиационной, судостроительной, электро- и радиотехнической, полиграфической промышленности и в других отраслях.

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Виды лакокрасочных материалов. Лакокрасочные покрытия применяют для защиты металлических и неметаллических изделий и конструкций от разрушающего воздействия (коррозии и гниения) внешней среды, а также для электроизоляции и декоративной отделки поверхностей. Лакокрасочные покрытия в большинстве случаев дешевле и часто более долговечны, чем другие покрытия (рис. 82), образуются на поверхности металла, дерева, стекла и т.п. в результате нанесения на них жидких лакокрасочных материалов и последующего их отверждения (высыхания). Образующаяся пленка характеризуется хорошей адгезией (сцепляемостью) с окрашиваемой поверхностью, механической прочностью, эластичностью и стойкостью против действия внешней среды (воды, газ и т.д. Различают следующие виды лакокрасочных материалов: масляные краски, лаки, эмали и порошковые краски.

Масляные краски представляют собой суспензии, приготовленные тщательным растиранием минеральных или органических пигментов в маслах, которые служат пленкообразователями. Пигменты придают краске соответствующую расцветку. Ими являются окись цинка, охра, свинцовые белила и т.д. Растительные масла варят с добавкой сиккативов окислов кобальта, марганца и др. Полученное масло называют олифой. В состав масляной краски входят наполнители (тальк, каолин) для повышения прочности и стойкости слоя краски. Высохшая масляная краска в условиях переменной влажности хорошо защищает металл от коррозии, так как даже проникая на некоторую глубину влага в процессе высыхания пленки удаляется.

Лаки - это растворы естественных или синтетических смол в различных растворителях. После нанесения лака на поверхность растворитель улетучивается и на ней образуется прочная пленка. По типу растворителей различают спиртовые (раствор смолы в спирте) и масляные (раствор смолы в олифе) лаки. Преимущества лаков по сравнению с красками заключаются в образовании блестящей поверхности и в ускорении процесса сушки. Пленки лаков, изготовленных на основе искусственных смол, выдерживают высокие температуры, а также воздействие щелочи и кислоты. Недостатком многих лаков является слабая адгезия к металлам и хрупкость защитной пленки.

Эмалевые краски (или эмали) — растворы лаков в органических растворителях с добавкой пигментов. Подобно лакам эмали дают блестящие пленки и могут образовывать теплостойкие и коррозионностойкие покрытия. Эмалевые краски дешевле лаков. В зависимости от связующего вещества различают следующие виды эмалевых красок: масляные (на масляных лаках), нитроэмали (на нитроцеллюлозных лаках) и глифталевые (на глифталевых лаках). Нитроэмали представляют собой быстросохнущие материалы, твердеющие уже через несколько минут после нанесения их на поверхность. Недостаток нитропокрытий — легкая воспламеняемость, невысокие теплостойкость и стойкость к действию ультрафиолетовых лучей.

Порошковые краски - это твердые порошкообразные композиции на основе эпоксидных, полиэфирных и иных смол. К преимуществам порошковых красок относят: стабильность свойств при хранении, экологическая безопасность и снижение трудозатрат при нанесении. Порошковые краски наносят в основном электростатическим напылением и сушат при 180-200°C 20-30 мин. Порошковые краски применяют для антикоррозионной защиты и получения защитно-декоративных покрытий на металлических изделиях. Процесс нанесения лакокрасочных покрытий. Он состоит из следующих операций: подготовки поверхности к окрашиванию, нанесения лакокрасочных материалов и сушки.

Окрашивают поверхности нанесением слоя краски с последующей сушкой. Краски наносят на поверхность пневматическими распылителями, установками безвоздушного распыления (рис. 83) или оборудованием для окраски в электростатическом поле.

Сушат окрашенные поверхности в естественных условиях (при комнатной температуре 15—25°C) или применяют для этой цели специальные устройства (сушильные камеры) для повышения температуры окружающей среды. Сушка в естественных условиях происходит в течение 1-2 суток. Повышение температуры до 100-110°C ускоряет процесс сушки до 1-3 часов.

Для достижения высокой чистоты отделки и заделки раковин, неровностей грунтованные поверхности *шпаклюют*. Шпаклевки представляют собой пасты, которые наносят специальным инструментом — шпателем. Состав шпаклевок зависит от вида применяемой краски. Наиболее часто применяют шпаклевку, в состав которой входят в определенной пропорции мел, столярный клей и олифа. После высыхания шпаклевки поверхности ее выравнивают пемзой и зачищают наждачной бумагой, промывают водой и сушат.

ПРОКЛАДОЧНЫЕ, УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для придания плотности и герметичности соединениям деталей машин (трубы, различные соединения и др.) и устранения возможного просачивания жидкости и прорыва газов используют прокладочные и уплотнительные материалы. *Изоляционные материалы* это органические и неорганические вещества, обладающие огнестойкостью и малой тепло- и электропроводностью. Они применяются для изоляции находящихся под током деталей машин и электропроводов. Наибольшее распространение получили бумага, картон, фибра, асбест, паронит и другие прокладочные и изоляционные материалы. *Бумага* — листовый материал, изготовленный из растительных волокон и целлюлозы. *Целлюлоза* — растительные волокна, очищенные

от смол и других компонентов. *Картон* — специально обработанная толстая бумага толщиной 0,25-3 мм. В зависимости от способа обработки он приобретает масло- и бензостойкость, электро- и термоизоляционность. Бумагу и картон применяют как прокладочный и изоляционный материал. *Фибра* — разновидность бумажного материала, изготавливают ее из бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Отличается высокой прочностью и хорошо поддается механической обработке, масло- и бензостойка. Недостаток фибры — значительная гигроскопичность, поэтому при увлажнении она деформируется. Фибры применяются для изготовления шайб, прокладок и втулок. *Асбест* — естественный волокнистый светло-серый минерал, состоящий из кремнезема и небольших количеств окиси железа и окиси кальция. Для него характерны высокая огнестойкость, а также малая тепло- и электропроводность, выдерживает температуру до 500°C. Из асбеста делают волокно, нити, шнуры, ткани с примесью хлопка и чисто асбестовые ткани, листовые и прокладочные асбестовые материалы, асбестовую бумагу, картон. *Паронит* - листовой материал из асбеста, каучука и наполнителей. Применяют для уплотнения водяных и паровых магистралей (при давлении до 5,0 МПа и при температуре до 450°C), а также для уплотнения трубопроводов и арматуры для нефтепродуктов: бензина, керосина, масла. *Войлок* — листовой пористый материал, изготовленный из волокон шерсти. Воздушные поры в нем составляют не менее 75% объема. Он обладает высокими тепло- и звукоизолирующими, а также амортизирующими свойствами. Войлок используют для набивки сальниковых уплотнений и изготовления прокладок. Важной задачей современного машиностроения является надежная герметизация и уплотнение соединений деталей и сборочных единиц, работающих в жестких условиях. Материал, обычно используемый для уплотнительных прокладок (паронит, картон и др.) не всегда обеспечивает надежную длительную герметичность соединений. Под действием температуры и вибрации прокладки со временем претерпевают ряд изменений, теряют свои уплотняющие свойства, в них возникают разрывы и трещины. В процессе эксплуатации это приводит к утечке масла, топлива и др. Для этих целей применяют различные герметики. *Уплотняющая жидкая прокладка ГИ П К-244* предназначена для герметизации неподвижных соединений деталей и сборочных единиц, работающих в водяной, пароводяной, кислотно-щелочной и масло-бензиновых средах. *Уплотнительная замазка У-20А* предназначена для герметизации соединений в воздушной и водяной средах. *Герметик Эластосил 137-83* герметизирует неподвижные соединения в водяной, пароводяной, кислотно-щелочной и масляной средах. *Анаэробный клей ДН-1* обеспечивает герметизацию соединений с зазорами до 0,15 мм. *Минеральная вата* — продукт переработки металлургических или топочных

шлаков. Служит для изоляции поверхностей с низкими и высокими температурами нагрева. Также в качестве изоляционного материала применяются плиты на основе минеральной ваты, проклеенной битумной эмульсией или фенольной смолой. *Изоляционная прорезиненная лента* представляет собой суровую тонкую хлопчатобумажную ткань (миткаль), пропитанную с одной или двух сторон липкой сырой резиновой смесью. *Липкая изоляционная лента* — это пленочный пластик, покрытый слоем перхлорвинилового клея. Толщина ленты 0,20—0,45 мм, ширина 15—50 мм. Изоляционные ленты выпускаются различных цветов.

ДРЕВЕСНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Древесина используется в качестве конструкционного материала в различных отраслях промышленности: мебельной, сельскохозяйственном машиностроении, химической, автомобильной, угольной и др.. Достоинствами древесины является высокая удельная прочность, хорошее сопротивление ударным и вибрационным нагрузкам, малая теплопроводность и низкий температурный коэффициент линейного расширения (в 2—3 раза меньше, чем у стали). Древесина стойка к кислотам, солям, маслам. К недостаткам древесины относятся: гигроскопичность (что часто приводит к нарушению стабильности формы изделий), отсутствие огнестойкости; анизотропия механических свойств. Механические свойства древесины зависят от ее влажности и направления волокон. Для сравнения свойств древесины установлена стандартная влажность, равная 15%. Наиболее распространенные породы древесины имеют следующие значения предела прочности (МПа) при статическом изгибе вдоль волокон: ель — 72, сосна — 76, бук — 95, береза — 96, лиственница — 98, клен — 105.

ГРАФИТО-УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Графит - кристаллическая модификация углерода. Плотность графита 2210-2260 кг/м³; прочность при сжатии $\sigma_{\text{н}} = 16-30$ МПа. Графит обладает рядом уникальных свойств: кислотоупорен, хорошо обрабатывается резанием, не растворяется в органических растворителях, имеет низкий коэффициент трения и высокую электропроводность. На основе графита получают графитоуглеродные материалы, из которых изготавливают скользящие элект-

троконтакты, плавильные тигли, литейные формы, подшипниковые материалы и т.д. *Углеграфитовые антифрикционные материалы* предназначены для работы без смазки в качестве подшипниковых опор, уплотнительных устройств и других трущихся деталей в интервале температур от -200 до +2000°С при скоростях скольжения до 100 м/с и в агрессивных средах. *Углеграфитовые материалы* с увеличенной механической прочностью при повышенных температурах: графит для электроэрозионной обработки выпускают в виде брусков марок ЭЭГ и ЭЭП Г; графит марок МГ, ГМЗ, ППГ применяют для оснастки вакуумных печей, нагревателей, изготовления тиглей, защитных чехлов термопар, антикоррозионных и термостойких труб и др. *Силицированный графит* СГ-М, СГ-Т, СГ-П используют для изготовления электронагревателей, работающих в окислительных газовых средах. *Боросилицированный графит* БСТ-30 предназначен для изготовления жаростойкой литейной оснастки; графит для изготовления химической аппаратуры марок АТМ-1 и АТМ-ПТ, работающий при температуре от — 18 до +150°С.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Композиционные материалы - искусственные материалы, получаемые сочетанием компонентов с различными свойствами. Одним из компонентов является матрица (основа), другим - упрочнители (волокна, частицы). В качестве матриц используют полимерные, металлические, керамические и углеродные материалы. Упрочнителями служат волокна - стеклянные, борные, углеродные, органические, нитевидные кристаллы (карбидов, боридов, нитридов и др.) и металлические проволоки, обладающие высокой прочностью и жесткостью. При составлении композиции эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиций. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, количественного соотношения и прочности связи между ними. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости или получать композиции с необходимыми специальными свойствами, например магнитными и т. п. Содержание упрочнителя в композиционных материалах составляет 20-80 % по объему. Свойства матрицы определяют прочность композиционного материала при сжатии и сдвиге. Композиционные материалы имеют высокую прочность, термическую стабильность, жесткость и жаропрочность. Так, для карбоволоконитов $\sigma = 650-1700$ МПа, а для бороволоконитов $\sigma_b = 900-1750$ МПа. Плотность композиционных материалов 1.35-

4,8 г/см Композиционные материалы являются весьма перспективными конструкционными материалами для многих отраслей машиностроения. *Карбо-волокониты* (углепласты) - это композиции из полимерной матрицы и упрочнителей в виде углеродных волокон. Для полимерной матрицы используются полиимиды, эпоксидные и фенолформальдегидные смолы. Карбоволокониты КМУ-2 и КМУ-2л на основе полиимидов можно применять при температуре до 300°С. Они химо- и водостойки. Карбоволокониты содержат, наряду с угольными, стеклянные волокна, что удешевляет материал. Карбоволокониты используют в химической, судостроительной и авиационной промышленности. При обработке обычных полимерных карбоволоконитов в инертной или восстановительной атмосфере получают графитизированные карбоволокониты или карбоволокониты на углеродной матрице. Так карбоволоконит на углеродной матрице типа КУП- ВМ по прочности и ударной вязкости в 5—10 раз превосходит специальные графиты. При нагреве в инертной атмосфере он сохраняет прочность до 2200°С. Карбоволокониты с углеродной матрицей широко применяют при изготовлении химической аппаратуры. *Бороволокониты* — это композиции из полимерного связующего и упрочнителя — борных волокон. Для получения бороволоконитов применяют модифицированные эпоксидные и полиимидные связующие. Бороволокониты имеют высокую высокую твердость, тепло- и электропроводность, прочность при сжатии и сдвиге. Бороволокониты водо- и химостойки. Изделия из бороволоконитов применяют в космической и авиационной технике (лопатки и роторы компрессоров, лопасти винтов вертолетов и т.д.). *Органоволокониты* — это композиции из полимерного связующего и упрочнителей из синтетических волокон. Упрочнителями служат эластичные волокна, капрон, нитрон, лавсан и др. Связующими служат полиимиды, эпоксидные и фенолформальдегидные смолы. Органоволокониты имеют малую плотность, сравнительно высокую ударную вязкость. Органоволокониты применяют в авиационной технике, электропромышленности, химическом машиностроении и др. *Металлы, армированные волокнами* — композиционные материалы с металлической матрицей и упрочнителями в виде волокон. Упрочнителями служат волокна бора, нитевидные кристаллы тугоплавких соединений, вольфрамовая или стальная проволока, углеродные волокна. Матричный материал выбирают из учета назначения композиционного материала (коррозионная стойкость, сопротивление окислению и др.). В качестве матриц используют легкие и пластичные металлы, алюминий, магний и их сплавы. Количество упрочнителя составляет по объему 30—50%. Металлы, армированные волокнами, применяются в авиационной и ракетной технике. Использование композиционных материалов требует в ряде случаев создания новых методов изготовления деталей и изменения принципов конструирования деталей и узлов машин

Таблица 25.

Термопластичные и терморезистивные пластические материалы

Материал	Плотность, г/см ³	Предел прочности σ_b , Мпа	Относительное удлинение δ , %	Твердость НВ	Ударная вязкость КС МДж/м ²
Термопласты					
Полиэтилены:					
ВД	0,93	8 - 14	100-300	1,4-2,5	2,0-16,0
НД	0,95	22 - 32	400-700	4,5-5,8	20,0
Фторопласт-4	2,3	16 - 31	250-450	3-4	10,0
Поливинилхлорид	1,5	50 - 70	25-400	--	10,0
Полиамиды	1,1 - 1,4	50 - 100	100-300	10-15	10,0-17,0
Органическое стекло	1,2 - 1,8	4	4	17	2,0
Реактопласты					
Фенолформальдегидные	1,2 - 1,6	15 - 35	1-5	25-30	До 0,1
Эпоксидные	1,2 - 1,7	28 - 70	3-6	--	0,1
Гетинакс	1,3 - 1,4	80 - 100	--	25-30	1,3-1,5
Текстолит	1,4	65 - 100	1-3	20-35	2,5-3,0

Таблица 26.

Характеристики фольгированных пластмасс

Наименование	Марка	Толщина, мм	Предел прочности при растяжении, МПа	Прочность сцепления с фольгой, Н/см	Плотность, г/см ³	Рабочие температуры, °С
Гетинакс фольгированный	ГФ-1-П	1,5-3,0	11,5	13,5	1,5-1,85	60-100

Стеклотекстолит фольгированный	СФ-2	0,8-3,0	280	13,5	1,9-2,9	60-120
Низкочастотный фольгированный диэлектрик	НФД-180-2	0,8-3,0	320	18,0	1,8-2,0	60-180
Фольгированный диэлектрик для многослойных плат	ФДМ-2	0,25	180	12,5	3,5-4,0	60-100
Фольгированный стеклопластик	СФЭД	0,7-2,0	260	26	1,9-2,9	60-120
Фольгированный асбопластик	АФЭД	1,7-2,0	280	9,5	1,9-2,9	60-180

Таблица 27.

Характеристика клеев

Марка	Режим склеивания			Температура эксплуатации клеевого соединения, °С	Назначение
	Давление, МПа	Температура, °С	Время, ч		
ВИАМ Б-3	0,2-0,4	15-17	До 18	От -40 до +70	Склеивание текстолита, фанеры и дерева
БФ-2 и БВ-4	0,1-0,2	До 150	1	От -60 до +60	Склеивание металлов, сплавов, керамики, стекла, дерева, кожи, текстолита, органического стекла
Клей 88Н	-	10-15	До 48	От -60 до +60	Склеивание холодным способом вулканизированной резины с металлом, кожей, деревом, стеклом
Бакелитовый	-	До 120	До 4	От -60 до +120	Склеивание текстолита, гетинакса, стекла и стеклоткани
ПЭД-Б	0,1-0,2	20-40	До 48	От -40 до +60	Склеивание винипласта, поливинилхлорида, металла и дерева
К-153	До 0,05	20-30	До 48	От -30 до +60	Склеивание металла, стекла, поливинилхлорида
ВК-3 и ВК-4	До 2,0	До 70	1	От -60 до +180	Склеивание стали, алюминия, титана, стеклотекстолита

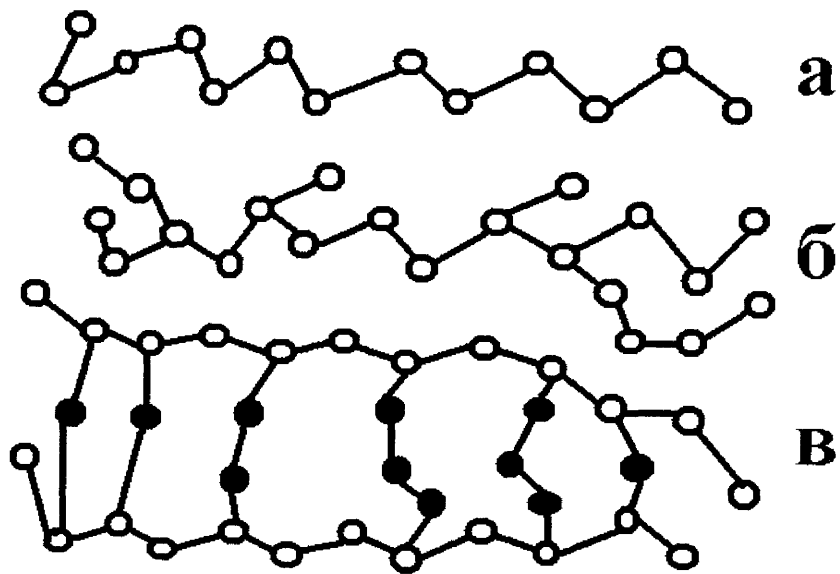


Рис. 81. Примеры схем строения полимеров



Рис. 82. Схема строения лакокрасочного покрытия: 1 — металл, 2 — слой грунта, 3 — шпаклевка, 4 — слой эмали

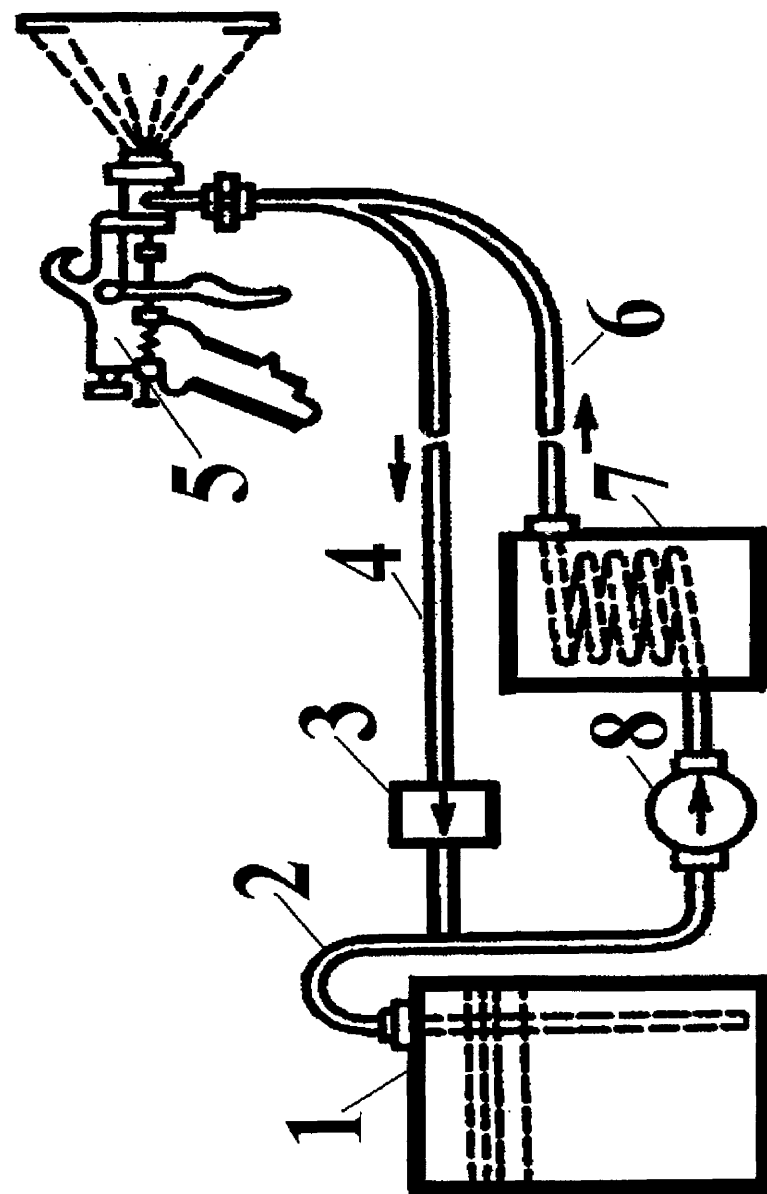


Рис. 83. Схема установки для безвоздушного распыления с подогревом: 1 — емкость для краски, 2 — питающая линия, 3 — клапан, 4, 6 — трубопроводы, 5 — краскораспылитель, 7 — нагреватель, 8 — насос

ЛИТЕРАТУРА

- Адрова Н.А., Бессонов М.И., Лайус Л.А., Рудаков А.П. Полиимиды- новый класс термостойких полимеров, Наука, Ленинград, 1968, 210с.
- Акользин А.П., Жуков А.П. Кислородная коррозия оборудования химических производств. – М.: Химия, 1985 – 208 с.
- Бахман А., Мюллер К. Фенопласты. М.: Химия, 1978.
- Беленький А.Л., Кристаль М.М., Кутепов С.М. и др. Химическое и нефтяное машиностроение, № 8, 1984, с. 42 – 47.
- Бокалюк Я.Х., Проскурин Е.В. Трубы с металлическими противокоррозионными покрытиями. – М.: Металлургия, 1985. – 200 с.
- Бородина И. В., Никитин А. К. Технические свойства советских синтетических каучуков-Л,М.:ГХИ,1952.-138с.; ил.
- Бортников В.Г. Основы технологии и переработки пластических масс. Учебное пособие для вузов. Д. Химия, 1983, 304 с.
- Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1975. – 816 с.
- Гуляев А. П. Металловедение, Москва, Металлургия 1977.
- Гуцалюк В.Г. и др. Аренфенолальдегидные олигомеры. Наука, 1986
- Емелин М.И., Герасименко А.А. Защита машин от коррозии. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
- Иосель Ю.А., Кленов Г.Э. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов/ Справочник. М.: Металлургия, 1984, с. 272.
- Кадек В.М., Кукурс О.К., Пуприн Б.А. Защита металлов от коррозии. – Рига.: Автос, 1981. – 174 с.
- Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов: Справочное пособие.-Л.: Химия, 1983 - 288 с., ил.
- Кирпичников П. А., Аверко-Антонович Л. А., Аверко-Антонович Ю. О. “Химия и технология синтетического каучука”. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1987.-424 с.; ил.
- Кноп, Андрэ, Шейб, Вальтер. Фенольные смолы и материалы на их основе. М.: Химия, 1983
- Козлов Ю.С. Материаловедение Агар. М. Лань. С-П., 1999. 180 с.
- Колодыркин Я.М. Металл и коррозия. М. Металлургия. 1985. 88 с.
- Композиционные материалы. Справочник. Под редакцией доктора технических наук Д.М. Карпиноса. Академия наук Украинской ССР институт проблем материаловедения. Киев. Наукова думка 1985г.
- Коррозия и защита химической аппаратуры. – Л.: Химия, (в 9-ти томах), 1969 – 1974.
- Коррозия/ Справочник Под ред. Л.Л. Шрайера Пер с англ. – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
- Лакокрасочные покрытия в машиностроении / Справочник Под ред. М. Гольдберга. М.: Машиностроение, 1974. – 267 с.
- Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для машиностроительных вузов, 2-е изд., пер. и доп.- М.: Машиностроение. 1980.-493 с.
- Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение М.: Машиностроение, 1990.
- Литвин О. Б. “Основы технологии синтеза каучуков”. – 3-е изд., перераб. и доп.- М.:Химия,1972.-528с.; ил.
- Малахов А.И., Жуков А.П. Конструкционные материалы и защита от коррозии, часть 2.Конспект лекций. М. МХТИ. 1978, 80 с.
- Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теория коррозии. – М.: Высш.школа, 1978. – 192 с.
- Методические указания по подбору конструкционных материалов при проектировании (Сост. Жуков А.П., Каграманов Г.Г.). М. МХТИ. 1986. 48 с.
- Научные основы материаловедения (под ред. Б.Н. Арзамасова). М., МГТУ им. Баумана. 1994. 366 с.
- Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления. (Мирзоев Р.Г., Кугушев И.Д., Брагинский В.А. и др.) -Л.: Машиностроение, 1972 - 416 с., ил.
- Основы материаловедения (под ред. И.И. Сидорина). М., Машиностроение. 1976. 436 с.
- Павлов В.П., Макевнин М.П. Стеклоянная аппаратура для производства чистых веществ. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
- Плудек В. Защита от коррозии на стадии проектирования. – М.: Мир, 1980. – 438 с.
- Полиимиды, каталог НИИТЭХИМ, Черкассы, 1978.
- Раздаточные материалы по курсу «Введение в химическую технологию (Сост. Семенов Г.М., Жуков А.П., Ванчури В.И.). М. МХТИ. 1987. 32 с.
- Рачев Х., Стефанова С. /Справочник по коррозии. М.: Мир, 1982. – 520 с.
- Сайт АК «Резинотехника» [<http://elastotechnics.kremen-rti.com.ua>]
- Сайт ЗАО «НаучКаучПром» [<http://www.nauchkauchprom.ru>]
- Сайт АК «Сибур» [<http://www.sibur.ru>]
- Сайт [<http://www.referat.ru>]
- Сайт [<http://www.muctr.edu.ru/f/fov/htum/chapter2.html>]
- Сайт [http://www.wonderware.ru/tkc/Projects/_NKTU.html]
- Сайт [<http://www.carbonblack.ru>]
- Салазкин К.А., Шерышев М.А. Машины для формования изделий из листовых термопластов. М.: Машиностроение, 1977, 158 с.
- Сидорин И. И. «Основы материаловедения», Москва, Машиностроение. 1976.
- Синтетический каучук (под ред. Гармонова И. В.) – 2-е изд., перераб.-Л.:Химия, 1983.-560с.; ил.
- Соболев В. М., Бородина И. В. Промышленные синтетические каучуки.- М.: Химия, 1977.-392 с.; ил.
- Сухотин А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов/ Справочник. – Л.: Химия, 1975. – 708 с.
- Техника борьбы с коррозией / Пер. с польск. – Л.: Химия, 1978. – 304 с.
- Технология материалов в приборостроении. Под ред. А.Н.Малова. М.: Машиностроение, 1969, 442 с.
- Тимонин А. С. “Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник, т. 1.-Калуга: Издательство Н. Бочкаровой, 2002.-852с.
- Технология материалов в приборостроении. Под ред. А.Н.Малова. М.: Машиностроение, 1969, 442 с.
- Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей. – М.: Металлургия, 1964. – 118 с.
- Углеродные волокна и углекомпозиты. Э. Фитцер, Р. Дифендорф, И. Калинин. Издательство Мир 1988.
- Уитби Г. С. и др. Синтетический каучук (перевод с англ. под ред. Гармонова И. В.) – Л.: ГХИ,1957-998с.; ил.
- Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы Справочник. – М.: Металлургия, 1980, с.208.
- Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов. М.: Высшая школа, 2001.
- Физическое металловедение т.1, (под ред. Р. Канна). М. «Мир». 1967.
- Фокин М.Н., Емельянов Ю.В. Защитные покрытия в химической промышленности. – М.: Химия, 1981. – 304 с.
- Штучный В.П. Обработка пластмасс резанием. М., Машиностроение, 1974, 144 с.
- Энциклопедия полимеров, т.т. 1,2,3. М., Химия, 1972 - 1977.
- Государственные стандарты СССР. Т. 1 – 3. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
- ГОСТ 9.303-84. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические. Общие требования к выбору.
- ГОСТ 9.306-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Обозначения.
- ГОСТ 9009-73. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные группы условий эксплуатации.