

ЧАСТЬ 1
МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛОВ

РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

1.1. Общие понятия в материаловедении

История развития материаловедения относится к концу XIX в., когда в 1878 г. русским металлургом Д. К. Черновым были опубликованы системные понятия о строении и качестве металлов.

Д. К. Чернов (1839–1921) — русский металлург и изобретатель, основоположник научной металлографии, профессор металлургии Михайловской артиллерийской академии в Петербурге (рис. 1.1).

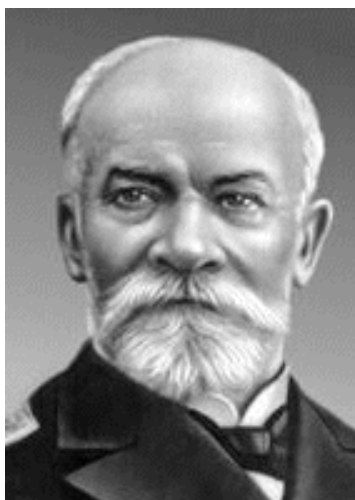


Рис. 1.1
Д. К. Чернов

К основным понятиям в материаловедении относятся следующие.

Компонент — химический элемент, входящий в состав материала.

Металл — поликристаллическое вещество, состоящее из множества элементарных объемов, называемых зерном.

Принципиально различают 3 основных формы зерна: дендритная, глобулярная, игольчатая. Размер зерна может достигать 0,01 мм.

Система — сочетание двух металлов и неметаллов, из которого состоит сплав.

Фаза — элементарный объем металла, имеющий четко выраженные границы, внутри которых сплав имеет одинаковые свойства.

Структура — общая картина внутреннего строения сплавов и неметаллических материалов.

Все электротехнические материалы подразделяются на:

1) металлы и их сплавы: стали, чугуны, цветные металлы и сплавы типа бронз, латуней, нихромов и др.;

2) неметаллы: проводники, сверхпроводники и криопроводники, неметаллические проводники, диэлектрические и волокнистые материалы, смолы, стекла, электроизоляционные лаки и компаунды, припои, флюсы, конструкционная керамика и др.

1.2. Общие свойства металлов

Основными свойствами, присущими большинству металлов, являются:

- 1) отражательная способность поверхности;
- 2) высокая тепло- и электропроводность;
- 3) положительный термический коэффициент электросопротивления;
- 4) повышенная способность к пластическому деформированию.

1.3. Кристаллическое строение металлов и сплавов

Для большинства используемых в практике металлов и сплавов существуют три основных вида элементарных кристаллических решеток.

ОЦК — объемно-центрированная кристаллическая решетка, в узлах которой находятся атомы металла и в центре куба еще один атом металла (Fe, Li, Ca, Cr, Mo, W, Nb).

ГЦК — гранецентрированная кристаллическая решетка, в центре граней которой находятся атомы металла (Cu, Al, Au, Pt, Ag).

ГПУ — гексагональная плотно упакованная решетка (Mg, Be, Ti₂).

Различное строение элементарных кристаллических решеток металлов, насыщенность их различным количеством атомов с различными размерами и свойствами определяют такое свойство как анизотропность.

Анизотропия — неодинаковость свойств металлов и сплавов в различных кристаллографических направлениях.

Реальные металлы и сплавы, как правило, псевдоизотропные.

1.4. Дефекты кристаллического строения

Принципиально различают три вида дефектов кристаллического строения:

1) точечные (вакансия — отсутствие в узле кристаллической решетки атома и межузельные атомы). Такого типа дефекты определяют вакансионный механизм диффузионного перемещения отдельных атомов внутри металлов и сплавов их твердом состоянии, что определяет такие свойства, как теплопроводность, электропроводность и т. п.;

2) линейные дефекты (дислокации) — цепь отсутствующих атомов;

3) плоскостные дефекты — отсутствие плоскости атомов.

Наличие дефектов кристаллического строения в металлах, сплавах и полимерах фактически определяет возможность большей или меньшей свободы диффузионного перемещения атомов, что, в конечном счете, определяет механические и физические свойства всех материалов (твердость, пластичность, электропроводность, магнитную проницаемость).

1.5. Виды соединений

Существует условное деление видов расплавов на жидкие растворы, твердые растворы, химические соединения. Кроме того, существует понятие однофазных и многофазных твердых растворов.

В зависимости от атомного радиуса компонента, входящего в состав расплава, различают:

- 1) твердые растворы замещения;
- 2) твердые растворы внедрения;
- 3) частично или полностью упорядоченные твердые растворы.

Упорядоченные растворы являются промежуточной стадией между твердыми растворами и химическими соединениями.

Твердые растворы замещения образуются при соблюдении следующих требований:

- 1) одинаковый тип кристаллической решетки;
- 2) разница атомарных радиусов не превышает 15%;
- 3) принадлежность компонентов к одной группе периодической системы Менделеева.

Характеристика химических соединений:

- 1) химические соединения имеют существенно более сложную химическую решетку, чем входящие в него компоненты;
- 2) физические свойства химических соединений резко отличаются от свойств компонентов;
- 3) процесс образования химического соединения происходит со значительным тепловым эффектом.

Металлические соединения типа оксидов, боридов, карбидов — соединения с легкими элементами (азот, водород).

1. Механические смеси — смеси двух и более компонентов, имеющие четко выраженные границы и различные свойства составляющих.

2. Твердые растворы:

а) *твердые растворы замещения* образуются при перемещении атомов из своей кристаллической решетки на место вакансии в решетке другого элемента (Fe–Cr, Fe–Mo и др.);

б) *твердые растворы внедрения* образуются при размещении атомов одного компонента в кристаллической решетке другого компонента. Такой тип растворов чаще всего относится к соединениям металлов (Fe, Cr, W и др.) и неметаллов (C и др.);

в) *интерметаллидные соединения*. Такой тип соединений называется упорядоченным твердым раствором. В этом случае ряд плоскостей одного элемента замещается плоскостью другого с последовательным чередованием плоскостей (Ni–Al, Ni–Ti и др.).

Упорядоченные твердые растворы обладают резко отличными от исходных материалов свойствами, включая температуру плавления, электропроводность, температурный диапазон, пластическую деформацию, плотность, твердость, конструктивную прочность.

Упорядоченные твердые растворы являются одними из наиболее перспективных материалов в ближайшие десятилетия.

Диаграмма состояния двойных сплавов строится по методу Н. С. Курнакова: термический анализ кривых охлаждения сплавов с последовательным рядом содержания одного компонента в другом.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение строения сплавов в зависимости от температуры и химического состава. Диаграммы состояния могут быть построены для сплавов, состоящих из двух, трех и более компонентов. На рисунке 1.2 изображена диаграмма состояния сплавов двух металлов при отсутствии взаимной растворимости. По оси ординат откладывается температура. Ось ординат соответствует чистому металлу (А или В).

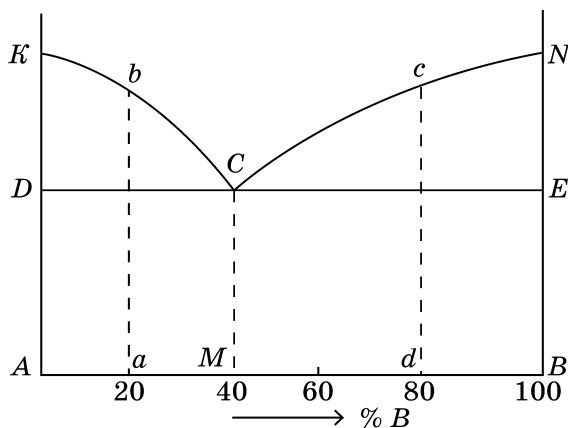


Рис. 1.2

Диаграмма состояния сплава двух металлов при отсутствии взаимной растворимости

По оси абсцисс откладывается концентрация. Общее содержание обоих компонентов в сплаве 100%, и каждая точка на оси абсцисс соответствует определенному содержанию каждого компонента. Например, точка «а» соответствует 20% компонента В и 80% компонента А. Каждая вертикаль (ав и dc), проведенная через точку на горизонтальной оси, соответствует изменению температуры определенного сплава. Каждая точка на диаграмме состояния определяет состояние сплава заданного химического состава при данной температуре. Линия KCN называется линией ликвидус. Сплав выше этой линии находится в жидком состоянии, а сама линия соответствует началу кристаллизации.

Линия DCE, соответствующая концу кристаллизации, называется линией солидус. В области, ограниченной линиями KC, CD, DK, сплав находится в двухфазном состоянии — жидкая фаза и кристаллы А. В области, ограниченной линиями CN, NE и ЕС, — из жидкой фазы и кристаллов В. В точке С жидкая фаза кристаллизуется в твердую механическую смесь — эвтектику, состоящую из кристаллов А и В. Эвтектика всегда имеет определенный химический состав. Температура плавления ее ниже температуры плавления компонентов А и В. Ниже линии солидус сплав находится в твердом состоянии и состоит из А + Э левее СМ и из В + Э правее СМ.

Рассмотренная диаграмма — одна из множества диаграмм состояния сплавов, которые встречаются на практике. Приведем еще несколько простых диаграмм, которые могут встречаться в более сложных диаграммах состояниях.

На рисунке 1.3 показана диаграмма состояния при неограниченной растворимости в жидком и твердом состояниях. DNC — линия ликвидус, DMC — линия солидус.

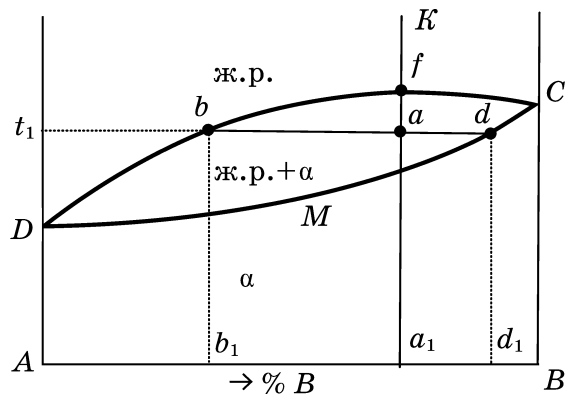


Рис. 1.3

Диаграмма состояния при неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состояниях

Между ликвидусом и солидусом сплав состоит из жидкой фазы и твердого раствора (α). Ниже линии солидус — твердый раствор α .

На рисунке 1.4 изображена диаграмма состояния двух металлов, полностью взаиморастворимых в жидком состоянии и частично в твердом.

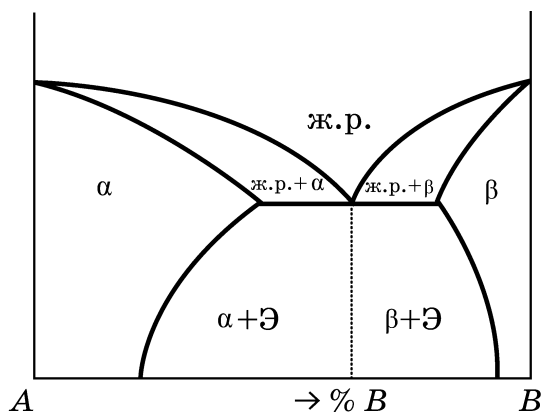


Рис. 1.4

Диаграмма состояния двух металлов, полностью взаиморастворимых в жидком состоянии и частично в твердом

Как видно из диаграммы, она уже имеет элементы двух предыдущих диаграмм: образование твердых растворов и образование эвтектики.

Основные физические свойства металлов и сплавов, имеющие практическое значение:

- 1) твердость;
- 2) температура плавления;
- 3) плотность;
- 4) тепловое расширение;
- 5) теплопроводность;
- 6) электропроводность;
- 7) магнитные свойства.

Температура плавления

Существует условное деление на легкие (Al имеет температуру плавления 660°C , Sn — 326°C), тугоплавкие (W — 3142°C , Fe — 1539°C) и промежуточные (Au — 1063°C , Cu — 1084°C) металлы.

Тепловое расширение

Характеризуется коэффициентом α (град^{-1}) линейного (объемного) расширения. Разница коэффициентов α для различных металлов колеблется в диапазоне от 0 до $90^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Из сплавов, у которых низкий коэффициент α , наиболее известным является сплав железа с никелем (Fe–Ni (36% Ni)) под названием нивар. В сплавах, в которых не происходит структурное изменение, слабо проявляется изменение коэффициента объемного расширения. У сплавов, в которых происходит структурное превращение, коэффициент α может изменяться в 2 раза, что является основой дилатометрического метода определения фазовых превращений. Термическая обработка, также как и состав сплава, сильно влияет на коэффициент α .

Теплопроводность

Характеризуется коэффициентом λ (Вт/мК).

При постоянной температуре у большинства легированных сталей изменение λ составляет $\pm 10\%$. В то же самое время у железа λ при 100°C изменяется в 5 раз.

$$\lambda_{\text{стали}} = 45,4 \text{ Вт/мК.}$$

$$\lambda_{\text{Al}} = 209,3 \text{ Вт/мК.}$$

$$\lambda_{\text{Ag}} = \text{Вт/мК.}$$

Вопросы для самопроверки

1. Какие кристаллические решетки характерны для металлов?
2. Что называется анизотропией?
3. Какие существуют объемные дефекты? Точечные дефекты? Линейные дефекты? Плоскостные дефекты?
4. Что такое дислокации и их влияние на свойства металлов?
5. Что такое компонент? Фаза?
6. Какие существуют твердые растворы?
7. Что такое механические смеси?
8. Что такое диаграмма состояния?

РАЗДЕЛ 2. МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

По химическому составу, согласно ГОСТ 380-2005, стали подразделяются на углеродистые и легированные, по применению — на конструкционные и инструментальные.

По качеству углеродистые стали подразделяют на стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Маркировка сталей обыкновенного качества

A	{	Ст. 0...6	{	сп
Б				пс
В				кп

А — сталь с регламентом по *механическим свойствам* (твердость, прочность и т. п.).

Б — сталь с регламентом по *химическому составу*.

В — сталь с регламентом как *по механическим свойствам, так и по химическому составу*.

0...6 — порядковый номер стали (находится по справочнику сталей).

Для удаления неметаллических включений (окислов, газов и пр.) из стали при ее выплавке выполняют так называемое «раскисление». Для этого в жидкую сталь добавляют шихту. При этом в жидкой стали образуются соединения, всплывающие на поверхность и создающие эффект «кипения». Затем они удаляются механически, и сталь становится чище и качественнее.

В зависимости от степени раскисления стали различают на:

сп — спокойная;

пс — полуспокойная;

кп — кипящая.

Например:

АСт3кп (обычно буква А не пишется)

БСт3кп

Маркировка инструментальных сталей

У7.....У16

0,7–1,6% углерода

Маркировка конструкционных сталей

Сталь 10.....Сталь 70

0,1%.....0,7% углерода

Маркировка легированных сталей

В *легированных сталях* русская буква означает компонент: без указания цифры — до 1%, с указанием цифры — его среднее значение в сплаве.

А — азот

Е — селен

Р — бор

Б — ниобий

К — кобальт

С — кремний

В — вольфрам

М — молибден

Т — титан

Г — марганец

Н — никель

Ф — ванадий

Д — медь

П — фосфор

Х — хром

Ч — редкоземельные элементы

Ю — алюминий

Примеры:

Конструкционная сталь 18Х2Н4ВА имеет следующий химический состав: 0,18% С, ~2% Cr, ~4 % Ni, ~1% W. Буква А означает, что эта сталь более качественная по содержанию серы и фосфора (S_i, Р — вредные для сталей элементы, выводимые из расплава при плавке стали).

Инструментальная сталь 4ХВ2С имеет следующий химический состав: 0,4% — С, ~1% Cr, ~2% W, ~1% Si.

Вопросы для самопроверки

1. Маркировка легированных сталей.
2. Маркировка легированных сталей, например: 18Х2Н4МА, 65Г, 08Х19Н10Г2Б.
3. Маркировка сталей обыкновенного качества.
4. Маркировка качественных и высококачественных сталей.
5. Маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества, например: Ст3пс, Ст6кп, Ст5сп.

РАЗДЕЛ 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

3.1. Твердость металлов и сплавов

Твердость — это способность материала сопротивляться вдавливанию в него другого материала (индентора).

Существует несколько способов измерения твердости вдавливанием: по Бринеллю (HB); по Роквеллу (HRA, HRB, HRC); по Виккерсу (HV).

1. HB — твердость по Бринеллю. Эта методика предполагает вдавливание в исследуемый материал на специальном прессе стального закаленного шарика диаметром 10 мм. В результате на поверхности образца образуется отпечаток, диаметр которого измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Шарик вдавливают с помощью пресса (рис. 3.1) (существуют и другие конструкции). Образец устанавливают на столике 1 зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом маховика 2 столик прибора поднимают так, чтобы шарик в оправке 4 мог вдавиться в испытываемую поверхность. Затем включают электродвигатель 5, который сначала перемещает коромысло и постепенно нагружает шток, а следовательно, и вдавливает шарик под действием нагрузки 3, сообщаемой привешенным коромыслу грузом. Эта нагрузка действует определенное время, после чего вал, вращаясь в обратном направлении, снимает нагрузку.

Твердость измеряют по формуле

$$HB = 0,120 \cdot 2P / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}),$$

где P — нагрузка, Н; D — диаметр шарика, мм; d — диаметр отпечатка, мм.

На практике твердость чаще определяют по таблицам.

Данный способ используется для определения твердости относительно мягких материалов: незакаленных сталей, чугунов, меди, алюминия и других цветных металлов и их сплавов.

Условная нагрузка на индентор — до 3000 кгс.

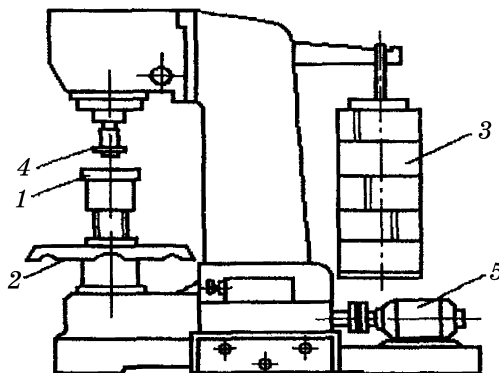


Рис. 3.1

Схема прибора для измерения твердости по Бринеллю (вдавливанием стального закаленного шарика)

2. HRC — твердость по Роквеллу. В этом случае в качестве индентора используется стальной конусный наконечник с углом конуса 120° . Используется для стальных закаленных и высокопрочных неметаллических материалов. Нагрузка на индентор — до 120 кгс.

3. HV — твердость по Виккерсу. Твердость по Виккерсу используется для определения твердости тонкопленочных покрытий и твердости отдельных структурных фазовых составляющих. Нагрузка на индентор (алмазная пирамида с углом при вершине 136°) — порядка 2,5–5 кгс.

H_μ — микротвердость, используется для определения свойств мелких структурных фазовых составляющих и анализа свойств границ между фазами. При этом используется алмазная пирамида при нагрузке на индентор 25, 100, 200, 500 Гс.

3.2. Определение прочности материала

Прочность — способность материала сопротивляться разрушению при линейной или объемной деформации.

Для определения прочности, упругости и пластичности материал в виде образцов круглой и плоской формы испытывают на растяжение. Испытания производят на разрывных машинах. В результате испытаний получают диаграмму растяжений (рис. 3.2).

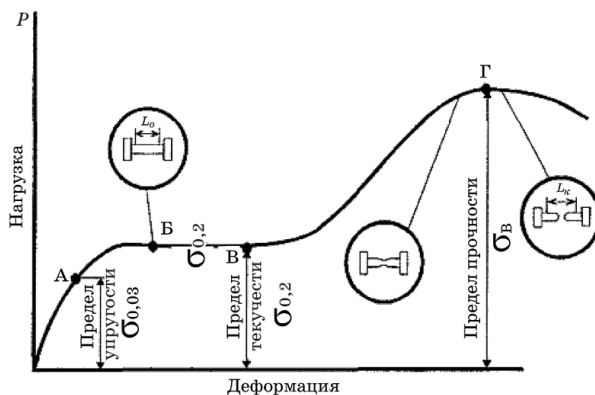


Рис. 3.2

Диаграмма растяжения

Предел прочности σ_B (временное сопротивление) — условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_c}, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)},$$

где P_{\max} — наибольшая нагрузка (точка Г диаграммы); F_0 — начальная площадь поперечного сечения рабочей части образца.

Предел текучести σ_T — наименьшее напряжение, при котором образец деформируется.

$\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала, при котором остаточная деформация образца составляет 0,2%.

Площадку текучести имеют в основном только пластичные материалы. Другие сплавы площадки текучести не имеют. Для таких материалов определяют условный предел текучести, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от расчетной длины образца:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2x}}{F_c}, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)},$$

где $P_{0,2}$ — условная нагрузка предела текучести.

Ударная вязкость — это способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам. Определяется как отношение затраченной на излом образца работы A к площади его поперечного сечения F в месте надреза:

$$KC = \frac{A}{F}, \quad \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}.$$

KCU — ударная вязкость стандартного образца 10×10×55 мм с U-образным надрезом. Эта методика используется преимущественно для исследования стали после закалки и твердосплавных материалов.

KCV — методика, используемая для более пластичных материалов.

KCT — методика определения вязкости отожженных сталей и пластичных материалов, $\frac{D_{ж}}{\text{м}^2}$.

3.3. Эксплуатационные свойства

Один из видов постепенного разрушения — это разрушение от износа — явление столь же частое, как и разрушение от усталости. Часто износ является следствием трения двух поверхностей. В процессе трения у менее износостойкого материала (обычно, но не всегда, менее твердого) износ больше. Износ состоит в отрыве отдельных частиц. Важное значение при износе имеет химическое и физическое взаимодействие трущихся пар.

Как правило, износостойкость различают по условиям, в которых работают детали машин, узлы и агрегаты:

- 1) в условиях сухого трения;
- 2) в условиях масляного трения;
- 3) при высокотемпературном газоабразивном изнашивании при температуре 500°C и выше;
- 4) при работе в агрессивных средах (коррозионная стойкость).

Наряду с этим существует изнашивание так называемых «жестко» закрепленных частиц и «не жестко» закрепленных частиц.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию принято называть *износостойкостью*.

Износостойкость весьма сильно зависит от условий трения.

При постоянных условиях трения имеют место три стадии изнашивания: 1) период приработки, при котором происходит интенсивное изнашивание, изменяется микрогеометрия поверхности и материал наклепывается; эти процессы обеспечивают упругое контактное взаимодействие тел; после приработки устанавливается равновесная шероховатость поверхности, характерная для заданных условий трения, которая в дальнейшем не изменяется и непрерывно воспроизводится; 2) период установившегося износа, в течение которого интенсивность износа минимальна для заданных условий трения; 3) период катастрофического износа.

Изнашивание происходит в результате механического, коррозионно-механического, эрозионного, кавитационного или усталостного воздействия.

К *механическому изнашиванию* относят абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, эрозионное, кавитационное и усталостное изнашивание.

Абразивное изнашивание материала происходит в результате режущего или царапающего действия твердых тел или частиц. Абразивные частицы — это частицы грязи, пыли, песка. Они попадают между контактирующими поверхностями со смазкой или из воздуха, а также могут появиться в результате развития других видов изнашивания (схватывания, выкрашивания, окисления). Абразивное изнашивание является типичным для многих деталей горных, буровых, строительных, дорожных, сельскохозяйственных и других машин, работающих в технологических средах, содержащих абразивные частицы.

Изнашивание, происходящее в результате воздействия твердых тел или частиц, увлекаемых потоком жидкости, называют *гидроабразивным изнашиванием*. Оно имеет место в мешалках, колесах и корпусах насосов, в шнеках и т. д.

Если абразивные частицы увлекаются потоком газа, как это имеет место в дымоходах и воздуходувках, то вызываемое ими изнашивание называют *газоабразивным изнашиванием*.

Эрозионное изнашивание происходит в результате воздействия потока жидкости или газа на поверхность.

Под *кавитационным изнашиванием* понимают изнашивание поверхности при относительном движении твердого тела в жидкости в условиях кавитации. В условиях кавитации работают гребные винты, гидротурбины, детали машин, подвергающиеся водяному охлаждению, трубопроводы.

При образовании продуктов химического взаимодействия металла со средой (изнашивание при фреттинг-коррозии и окислительное) возникает *коррозионно-механическое изнашивание*.

При длительном трении сопряженных поверхностей в случае нормального износа окислительное изнашивание наблюдается в подшипниках скольжения, валах, втулках, поршневых кольцах и т. д.

Изнашивание при фреттинг-коррозии происходит в болтовых и заклепочных соединениях, посадочных поверхностях подшипников качения, шестерен, муфт и других деталей, находящихся в подвижном контакте. Для образования фреттинг-коррозии достаточны даже весьма малые относительные перемещения с амплитудой 0,025 мкм.

Причиной изнашивания является непрерывное разрушение защитной окисной пленки в точках подвижного контакта.

В результате одновременного механического воздействия и воздействия молекулярных или атомных сил наступает изнашивание, получившее название *молекулярно-механического*. К нему следует отнести изнашивание при заедании. Это результат схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность. Такие повреждения возникают там, где между поверхностями контакта исчезают разделяющие их смазочные слои, адсорбированные пленки жира, влаги, газов, пленки окислов и др., и эти поверхности под действием нагрузки сближаются на расстояние межатомного взаимодействия.

Изнашивание при заедании наблюдается на зубчатых колесах, подшипниках скольжения и т. д.

Слой смазки устраняет непосредственный контакт двух поверхностей, благодаря чему не только уменьшаются силы трения, но создаются условия для устранения или уменьшения износа поверхностей. Смазка предотвращает схватывание при трении и обеспечивает хорошую прирабатываемость.

Для многих сталей с повышением твердости (при некотором запасе пластичности) относительная износостойкость возрастает. Повышение износостойкости стали достигается химико-термической обработкой, упрочнением поверхности путем механического наклепа или наплавки, образованием промежуточных пленок, предотвращающих непосредственный металлический контакт (фосфатирование, сульфацирование и др.).

Вопросы для самопроверки

1. Что такое прочность?
2. Что такое предел прочности? Предел текучести? Условный предел текучести? Обозначение и размерность.
3. Что такое упругость? Чем оценивается упругость?
4. Что такое пластичность? Чем оценивается пластичность?
5. Что такое ударная вязкость? Обозначение и размерность.
6. Что такое твердость?
7. Какие существуют методы определения твердости и когда их применяют?
8. Какая разница между вязким и хрупким разрушением?
9. Что такое износостойкость?
10. Какие существуют стадии изнашивания?
11. Какие существуют виды изнашивания?

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru