

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-37 80 01 «Транспорт»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.7
ББК 32.9
ПЗ8

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «19» марта 2020 г.,
протокол № 8

Составитель канд. техн. наук, доц. А. С. Федосенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

В методических рекомендациях содержатся описания лабораторных работ. Порядок следования работ соответствует очередности изложения тем в лекционном курсе и эффективно его дополняет. В описании каждой практической работы представлен раздел «Контрольные вопросы», позволяющий студентам самостоятельно подготовиться к ее защите.

Учебно-методическое издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 66 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Практическая работа № 1. Микроскопический метод исследования металлов и сплавов.....	4
2 Практическая работа № 2. Структура, свойства и область применения углеродистых конструкционных сталей	6
3 Практическая работа № 3. Структура, свойства и область применения чугунов	9
4 Практическая работа № 4. Изучение зависимости между структурами и свойствами сталей и сплавов цветных металлов после различных видов термической обработки	13
5 Практическая работа № 5. Структура, свойства и область применения конструкционных легированных сталей.....	17
6 Практическая работа № 6. Химико-термическая обработка стали.....	20
7 Практическая работа № 7. Цветные металлы и сплавы	23
8 Практическая работа № 8. Пластические массы на основе термопластичных полимеров	28
9 Практическая работа № 9. Пластические массы на основе термореактивных смол.....	32
Список литературы.....	35

1 Практическая работа № 1. Микроскопический метод исследования металлов и сплавов

Цель работы: ознакомление с процессом приготовления микрошлифов и проведение микроанализа сплавов; приобретение навыков зарисовки простейших микроструктур.

Микроскопический метод исследования металлов и сплавов, или кратко *микроанализ*, изучает структуру (строение) металла при помощи микроскопа на специально подготовленных образцах.

Строение (структура) металлов, изучаемое при микроанализе, называется *микроструктурой*.

Образец металла, подготовленный для микроанализа, называют *микрошлифом*.

Приготовление микрошлифа состоит в вырезании образца, шлифовке и полировке до зеркального блеска его поверхности, выбранной для исследования.

Вырезанный образец обрабатывается абразивным кругом (зернистостью 46 и 60 мкм) с периодическим охлаждением. Затем образец шлифуется шлифовальной бумагой с постепенным переходом от бумаги марки № 12–3 с зернистостью от 125 до 20 мкм к бумаге марки М40–М5 с зернистостью от 28 до 3,5 мкм до полного удаления рисок. При переходе от одного номера зернистости к другому необходимо очищать образец от абразива и менять направление шлифовки на 90°.

Для шлифовки образцов кроме шлифовальной бумаги, можно применять специальные пасты. Паста ГОИ, в состав которой входят оксид хрома, стеарин, олеиновая кислота, сода, керосин, применяется для шлифовки черных металлов и имеет три сорта зернистости (тонкая, средняя, грубая).

После окончательной шлифовки образец тщательно очищается от абразива и полируется до полного исчезновения рисок.

Полировка ведется на вращающихся кругах, обтянутых грубым сукном, на которое периодически наносится водная взвесь оксида хрома, алюминия, титана или других оксидов в виде мелкодисперсных порошков; алмазная суспензия или паста; порошки карбида хрома, титана и т. д.

При исследовании поверхности металла под микроскопом непосредственно после полировки можно обнаружить на общем светлом поле отдельные темные или серые точки и линии, которые могут представлять собой как неметаллические включения (оксиды, сульфиды, шлаки, силикаты, графит, нитриды), так и не устраненные полировкой дефекты поверхности образца (раковины, микротрещины, следы обработки).

Для выявления полной картины микроструктуры металла образец подвергают травлению, которое позволяет определить число, размеры, форму, взаимное расположение и количественное соотношение фаз и структурных составляющих. Перед травлением поверхность микрошлифа обезжиривается спиртом, а затем погружается в реактив на необходимое для выявления микроструктуры

время. После травления поверхность микрошлифа будет иметь сложный микрорельеф, характеризующий строение металла. Для разных групп материалов используются отдельные составы для травления. Наиболее типичные из них являются: для углеродистых сталей и чугунов – $C_2H_5OH + 3\% HNO_3$, для коррозионностойких аустенистых сталей – $HCl:HNO_3 = 3:1$ (царская водка), для алюминиевых сплавов – 100 мл $H_2O + 11$ мл 30 % HF, для медных сплавов – 10 % р-р $FeCl_3$, для титана и его сплавов – 96 мл $H_2O + 2$ мл HF + 2 мл HNO_3 .

В случае многофазных сплавов степень травимости будет еще более различна. Участки поверхности микрошлифа с более низким потенциалом играют роль анодов и будут растворяться. Более интенсивно протравливаются границы зерен металла, которые, кроме несовершенств строения, обычно больше обогащены различными примесями, а это способствует образованию микрогальванических элементов. В результате на границах зерен после травления образуются углубления.

Для микроскопического исследования структуры металлов используются металлографические микроскопы, которые рассматривают предметы в отраженном свете и могут использоваться для исследования строения непрозрачных предметов (металлов, пластмасс, металлокерамики и т. д.).

Микроанализ позволяет проводить не только качественное исследование структуры металла. Он используется и для количественной оценки структурных составляющих, например, для измерения величины зерна, глубины слоя и т. д. При определении конкретных размеров используются объекты-микрометры и окуляры-микрометры.

Объект-микрометр – стеклянная или металлическая пластинка, на которую нанесена шкала длиной в 1 мм с ценой деления 10 мкм (0,01 мм).

Окуляр-микрометр отличается от окуляра лишь наличием шкалы, имеющей 100 делений.

Для определения цены деления окуляра-микрометра объект-микрометр устанавливается вместо шлифа на предметный столик, и шкалы обоих микрометров совмещаются.

После совмещения некоторых участков шкал проводится вычисление цены деления окуляра по формуле

$$C_{ок} = (C_{об}T) / A,$$

где $C_{об}$ – цена деления объекта-микрометра, равная 0,01 мм;

T – число делений объекта-микрометра, совпавших с числом делений окуляра-микрометра A .

Зная цену деления окуляра-микрометра, можно аналогичным образом измерить интересующий микрообъект, помещая его на предметный столик.

Например, средняя величина зерна d_z исследуемого металла или сплава может быть вычислена следующим образом:

$$d_z = (C_{ок}N) / n,$$

где $C_{ок}$ – цена деления окуляра-микрометра, мм;

N – число делений окуляра, в границах которых подсчитывалось количество зерен;

n – среднее число зерен, уместившихся на отрезке длиной $C_{ок}N$ при горизонтальном и вертикальном положениях шкалы окуляра-микрометра.

Считая приближенно средний линейный размер зерна равным среднему диаметру зерна, площадь зерна определяется по формуле

$$S_{cp} = (\pi \cdot d_{cp}^2) / 4.$$

Рассчитав площадь зерна, можно определить его номер по специальной таблице. Чем меньше размер зерна, тем выше комплекс механических свойств образца (при снижении размеров зерна от № 1 до 14, прочность любого сплава возрастает в 7–8 раз). Это объясняется тем, что границы зерен являются препятствиями для движения дислокаций.

Задание к работе

- 1 Изучить процесс приготовления микрошлифов.
- 2 Изучить процесс травления микрошлифов.
- 3 Исследовать микрошлиф после травления и зарисовать структуру.
- 4 Определить цену деления окуляр-микрометра.
- 5 Определить величину зерна материала микрошлифа.

Контрольные вопросы

- 1 Изложить методику приготовления шлифов.
- 2 Изложить методику и назначение травления шлифов.
- 3 Как определяется цена деления окуляр-микрометра?
- 4 Как определяется размер зерна сплава?

2 Практическая работа № 2. Структура, свойства и область применения углеродистых конструкционных сталей

Цель работы: изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов; установление зависимости между структурой и свойствами стали, области их применения.

Под *равновесным* понимается такое состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния. Превращения, протекающие в сталях в равновесном состоянии, описываются диаграммой железо–цементит, представленной на рисунке 1.

В железоуглеродистых сплавах могут присутствовать следующие твердые фазы: феррит, аустенит, цементит.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе, имеющем объемно-центрированную кубическую решетку. Максимальная растворимость в высокотемпературной области составляет 0,10 % (точка H), в низкотемпературной – 0,02 % (точка P). Содержание углерода при комнатной температуре – 0,01 %. Феррит мягок и пластичен.

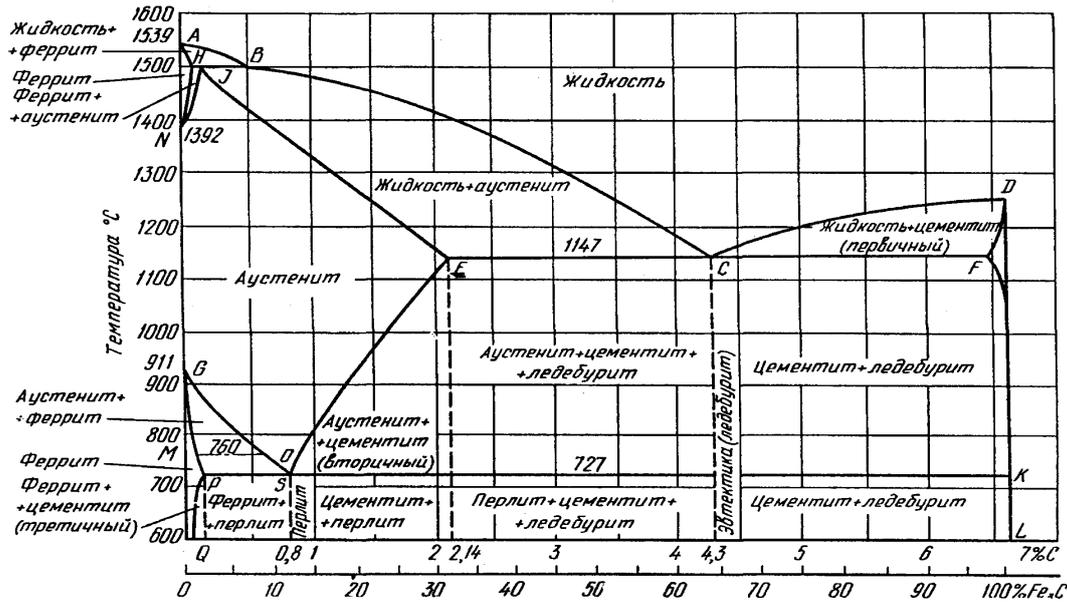


Рисунок 1 – Диаграмма железо–цементит

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе, имеющем гранецентрированную кубическую решетку. Максимальная растворимость углерода в аустените – 2,14 % (точка E). По механическим свойствам аустенит близок к ферриту.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа, химическая формула которого Fe_3C . Содержание углерода в цементите равна 6,67 %. Цементит обладает высокой твердостью (≈ 800 HV) и хрупкостью. Он имеет сложную ромбическую решетку.

Перлит – эвтектоидная смесь феррита и цементита, образующаяся в результате эвтектоидного распада аустенита.

Железоуглеродистые сплавы в зависимости от содержания углерода делятся на три группы: **техническое железо, стали, чугуны**.

Техническое железо в качестве конструкционного материала практически не используется.

Стали – это сплавы с содержанием углерода от 0,02 % (точка P) до 2,14 % (точка E). В структуре стали по мере увеличения содержания углерода возрастает доля цементита и, соответственно, уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твердости и прочности стали и снижению ее пластичности, изменению физических и технологических свойств. В зависимости от содержания углерода стали по своей структуре делятся на **доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные**.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 % углерода (точка P) до 0,8 % (точка S). Они имеют структуру феррита и перлита. С увеличением содержания углерода прямо пропорционально увеличивается содержание перлита. При концентрации углерода в стали 0,8 % количество перлита равно 100 %.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода (точка S) и состоит из перлита.

Заэвтектоидная сталь содержит от 0,8 % углерода (точка *S*) до 2,14 % углерода (точка *E*). Заэвтектоидная сталь состоит из перлита и цементита.

Таким образом, структура и свойства стали определяются количеством углерода в ней. Доэвтектоидные стали, содержащие до 0,8 % углерода, являются **конструкционными**, предназначенными для изготовления деталей машин (машиностроительные стали), конструкций и сооружений.

Стали обыкновенного качества.

Стали группы А (Ст1кп, Ст1сп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4пс) применяются для изготовления рядового проката (швеллеров, уголков, листов, прутков, труб и др.), используемого для клепаных и болтовых конструкций, а также для малонагруженных деталей машин (валов, осей, зубчатых колес, болтов и т. д.), не подвергаемых нагреву в процессе обработки.

Стали группы Б (БСт1пс, БСт2сп, БСт3сп, БСт4пс, БСт6сп) применяются для изготовления изделий, подвергаемых нагреву (горячей обработке давлением, сварке, термической обработке).

Стали группы В (ВСт0пс, ВСт2пс, ВСт3сп, ВСт4сп, ВСт5сп) применяются для изготовления сварных конструкций, подвергаемых расчетам на прочность.

В конце марки стали ставятся буквы кп, пс, сп. Буквы кп показывают, что сталь кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная.

Качественная конструкционная сталь, по сравнению со сталью общего назначения, содержит вдвое меньше серы и фосфора и отличается более высокими механическими свойствами. Она маркируется цифрами, например, 08, 10, ..., 80, показывающими содержание углерода в сотых долях процента.

Низкоуглеродистые стали, содержащие углерода до 0,25 %, обладают невысокой прочностью и высокой пластичностью и применяются для изготовления изделий листовой холодной штамповкой (05кп...10), а также для деталей, упрочняемых цементацией, и для различных сварных соединений (сталь 15, сталь 20). Кроме того, из последних сталей изготавливают болты, шпильки, гайки, валики неотчетственного назначения и т. п.

Среднеуглеродистые стали марок 30–50 предназначаются для ответственных деталей высокой прочности с вязкой сердцевиной (зубчатые колеса, шатуны, коленчатые валы, распределительные валы, винты, оси, втулки, рычаги и др.). Как правило, детали из этих сталей подвергаются улучшению (вид термической обработки).

Высокоуглеродистые стали 55–85 применяются для пружин, рессор, а также деталей высокой прочности: прокатных валков (сталь 60), крановых колес (сталь 75), дисков муфт сцепления (сталь 85) и др. Детали из этих сталей подвергаются закалке и отпуску (виды термической обработки).

Задание к работе

- 1 Построить диаграмму железо–цементит.
- 2 Дать определение фазам и структурным составляющим в сталях.
- 3 Определить содержание углерода в образце доэвтектоидной стали.
- 4 Изучить и изобразить микроструктуру предложенных шлифов.
- 5 Указать марки сталей, применяемых для изготовления деталей машин и конструкций, согласно заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение фаз, присутствующих в сталях, и указать содержание углерода в них.
- 2 Дать классификацию углеродистых сталей по качеству, содержанию углерода и назначению.
- 3 Изучить маркировку сталей и указать области применения перечисленных сталей: Ст2, БСт3, ВСт4, Ст6, 08кп, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80.

3 Практическая работа № 3. Структура, свойства и область применения чугунов

Цель работы: изучение микроструктуры чугунов разных марок, их свойств и области применения.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода. В машиностроении чугун является одним из основных **литейных** материалов, что объясняется, прежде всего, его хорошими литейными и прочностными свойствами. Он не подвергается обработке давлением. Главным фактором, определяющим свойства, а следовательно, и область использования чугуна, является его структура.

По структуре чугуны делят на **белые (БЧ), серые (СЧ), ковкие (КЧ) и высокопрочные (ВЧ)**.

Основной особенностью **белых чугунов** является то, что в них углерод связан в химическое соединение – цементит (Fe_3C). Структура белых чугунов описывается метастабильной диаграммой Fe– Fe_3C .

Белые чугуны подразделяются на доэвтектические (С = 2,14...4,3 %), эвтектические (С = 4,3 %) и заэвтектические (С = 4,3...6,67 %).

Высокая твердость и хрупкость цементита определяют свойства белого чугуна и не позволяют использовать его в качестве конструкционного материала. Чаще всего белые чугуны используются для изготовления деталей гидромашин, пескометов и других механизмов, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Широко используют изделия из чугуна с отбеленной поверхностью. В таких деталях внешний рабочий слой имеет структуру белого чугуна, а сердцевина – серого. Такая структура достигается путем быстрого охлаждения металла. Из отбеленного чугуна изготавливают колеса, шары для мельниц, прокатные валки, которые крепятся в станках для обработки листового проката. Из легированных белых чугунов изготавливают отливки турбин, лопаток мельниц, деталей для цементных и обычных печей, лопастей перекачивающих машин и др.

В **сером, ковком и высокопрочном** чугунах весь углерод или часть его выделяется в виде графита. Причем в сером чугуне графит имеет пластинчатую форму, в ковком – хлопьевидную и в высокопрочном – шаровидную. Включения графита располагаются в металлической основе, которая в зависимости от условий получения материала может быть ферритной, перлитной или ферритно-перлитной.

Серые чугуны работают на сжатие лучше, чем на растяжение. Они мало чувствительны к надразам при циклическом нагружении, хорошо поглощают колебания при вибрациях, обладают высокими антифрикционными свойствами из-за смазывающей способности графита, хорошо обрабатываются резанием, дешевы и просты в изготовлении.

Серый чугун. Отливки изготавливают из чугуна марок СЧ10–СЧ35. Цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм². Чугун СЧ10 – ферритный, СЧ15, СЧ18, СЧ20 – ферритно-перлитные, начиная с СЧ25 – перлитные.

Из ферритных и ферритно-перлитных чугунов в автомобилестроении изготавливают крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов, подшипников, насосов, а также суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и др.; из перлитных – блоки цилиндров карбюраторных и дизельных двигателей, гильзы цилиндров, маховики и др. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы, шпиндельные бабки и др.).

Высокопрочный чугун получают модифицированием (микролегированием) жидкого чугуна присадками (0,1...0,5 % магния от массы чугуна, 0,2...0,3 % церия, иттрия). Модифицирование приводит к образованию графита шаровидной формы, негативное влияние которого на прочность материала значительно ниже, чем пластинчатого графита.

Отливки изготавливают из высокопрочного чугуна марок ВЧ35–ВЧ100 (цифры соответствуют пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм²).

Высокопрочный чугун широко применяется в практике взамен стального литья, поковок, штамповок, обеспечивая надежность и долговечность изделий в различных режимах эксплуатации. Отличительные особенности ВЧ в сравнении со сталью – более высокий предел прочности при растяжении, низкая чувствительность к концентраторам напряжений; повышенная (до 3,5 раза) циклическая вязкость, в связи с этим ВЧ более эффективен, чем сталь, особенно в условиях действия динамических нагрузок.

На практике высокопрочные чугуны применяют для литья блоков цилиндров, шатунов, головок блоков, тормозных барабанов, дисков сцепления, суппортов тормозных систем, поршневых колец, коленчатых и распределительных валов, деталей трансмиссии, зубчатых колес, станочных кроватей, речных рулевых механизмов, поршней ударных дрелей, формовочных коробок и хомутов, ряда других деталей.

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна. После охлаждения отливку из белого чугуна подвергают графитизирующему отжигу, в процессе которого неустойчивая фаза – цементит – распадается с образованием графита хлопьевидной формы.

В случае непрерывного охлаждения отливки в области эвтектоидной температуры аустенит распадается на перлит пластинчатый. Получается *ковкий чугун с перлитной металлической основой*. Он обладает высокими твердостью и прочностью в сочетании с небольшой пластичностью. Для повышения пластичности при сохранении высокой прочности проводится непродолжительная (2...4 ч) изотермическая выдержка чугуна при температурах 690...650 °С. Это вторая стадия отжига, представляющая собой в данном случае отжиг на зерни-

стый перлит. Перлит пластинчатый переходит в перлит зернистый путем сфероидизации (округления) пластин цементита.

Наряду с ковким чугуном, имеющим *перлитную* основу, широко распространен в машиностроении *ферритный ковкий чугун*, характеризующийся высокой пластичностью ($\delta = 10...12\%$) и относительно низкой прочностью ($\sigma_B = 370...300$ МПа).

Перечень литых изделий из КЧ весьма разнообразен (пробки, гайки, втулки, фланцы, кронштейны, ступицы, тормозные колодки, коленчатые валы и др.). Из ферритного ковкого чугуна марок КЧ 30-6, КЧ33-8 изготавливают глушители, фланцы, гаечные ключи, педали, колодки, вентили, муфты; из марок КЧ35-10, КЧ37-12 – каретки, ступицы, детали задних мостов; из перлитного ковкого чугуна марок КЧ50-5, КЧ60-3 – вилки карданных валов, шестерни, поршни, звенья и ролики конвейерных цепей, втулки, муфты.

В марке чугунов первые две цифры соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм², цифры после тире – относительному удлинению δ , %.

В настоящее время во многих отраслях промышленности, включая и автомобилестроение, широкое применение находят легированные чугуны.

Кремнистые чугуны ЧС5, ЧС5Ш, ЧС13, ЧС15М4, ЖЧС5Н обладают высокой жаростойкостью и коррозионной стойкостью. ЧС15 и ЧС17 (ферросилиды) обладают высокой коррозионной стойкостью в серной, азотной и хромовой кислотах, в ряде органических кислот, растворах солей и щелочей. Они устойчивы против действия окисей азота при повышенных температурах, сухого и влажного хлора, сероуглерода, синильной кислоты.

Алюминиевые чугуны отличаются жаростойкостью и коррозионной стойкостью. Применяют чугуны марок ЧЮХШ, ЧЮ6С5, ЧЮ7Х2, ЧЮ22Ш, ЧЮ30.

К примеру, чугун марки ЧЮ7Х2 отличается жаростойкостью в воздушной среде до 1100 °С. Стоек в среде, содержащей пары воды. Применяется для деталей химического и нефтеперерабатывающего оборудования, деталей печной арматуры, колосников агломерационных машин и топок котлов, деталей цементных печей. Чугун марки ЧЮ30 жаростойкий в среде, содержащей серу и сернистый газ, в среде топочных газов. Стоек против износа при нормальных и высоких температурах. Применяется для отливки деталей термических печей, тиглей для плавки алюминия. Низкокремниевые алюминиевые чугуны применяются главным образом как конструкционный материал.

Марганцевые чугуны являются немагнитными и износостойкими материалами. Применяют чугуны марок ЧГ6С3Ш, ЧГ7Х4, ЧГ8Д3. Никелевые чугуны отличаются высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью, жаропрочностью. Используются сплавы марок ЧНЗХМДШ, ЧН4Х2, ЧН11Г7Ш. Широко известен чугун марки ЧН15Д7 (нирезист), отличается жаростойкостью, жаропрочностью, твердостью, коррозионной стойкостью. Используется в химической, нефтеперерабатывающей промышленности. В автомобилестроении, к примеру, сплав используется в виде нирезистовой вставки под поршневое

кольцо алюминиевого поршня, что увеличивает износостойкость отдельных узлов детали и сферу ее применения в целом.

Хромистые чугуны подразделяют на низколегированные (ЖЧХ-0,9, ЖЧХ-1,5 и ЖЧХ-2,5), среднелегированные (ИЧХ4Г7Д) и высоколегированные (Х28Л и Х34Л). Низколегированные применяют в тракторо- и станкостроении при производстве жаростойких, щелочестойких и антифрикционных отливок. Из среднелегированных чугунов изготавливают изделия, эксплуатируемые в условиях абразивного изнашивания. Высоколегированные хромистые чугуны стойки в концентрированной азотной, серной, уксусной, фосфорной, органических кислотах, а также в щелочах, растворах солей, морской воде, в обычной среде и в среде сернистых газов. Изготавливают колосники, детали котлов, форсунок, поддонов и реторт, а также используют для изготовления абразивостойких деталей.

Задание к работе

1 Дать характеристику белым чугунам и изделиям с отбеленной поверхностью. Указать область их применения.

2 Дать характеристику серым, ковким, высокопрочным чугунам и изобразить их микроструктуру. Привести марки чугунов, назвать их механические свойства и область применения.

3 Дать характеристику легированным чугунам и указать область их применения.

Контрольные вопросы

1 Перечислить преимущества чугунов перед сталями.

2 Дать определение фаз, присутствующих в чугунах.

3 Изучить маркировку чугунов и указать области применения чугунов перечисленных марок:

– СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ28, СЧ30, СЧ35;

– КЧ30-12, КЧ35-10, КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ60-3, КЧ80-1,5;

– ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ120;

– ЧС17, ЖЧХ-2,5, ЧН15Д7, ЧЮ7Х2.

4 Практическая работа № 4. Изучение зависимости между структурой и свойствами сталей и сплавов цветных металлов после различных видов термической обработки

Цель работы: изучение методики назначения режимов термической обработки и основных фазовых превращений, протекающих в сталях при отжиге, нормализации, закалке и отпуске.

Термической обработкой называют технологические процессы, состоящие из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств. При термической обработке сталей и сплавов проте-

кают фазовые превращения. Они вызваны тем, что вследствие изменившихся условий (температуры) новое состояние оказывается более устойчивым, чем старое, так как обладает меньшим запасом свободной энергии.

Основными видами термической обработки стали являются *отжиг первого рода, отжиг второго рода, закалка, отпуск*.

Отжиг первого рода. Отжиг первого рода частично или полностью устраняет отклонения от равновесного состояния, имеющиеся в стали после литья, обработки давлением, сварки в других технологических операциях. В зависимости от того, какие отклонения от равновесного состояния устраняются, различают *гомогенизационный, рекристаллизационный и уменьшающий напряжения*.

Целью гомогенизационного отжига является устранение химических неоднородностей в структуре, в результате чего повышается пластичность материала, улучшаются технологические свойства слитков при обработке давлением, повышается однородность структуры готовых изделий. В общем, температура отжига 0,90...0,95 от температуры плавления в кельвинах. Для каждого конкретного сплава она уточняется на основе проводимых исследований структуры и свойств заготовок и готовых изделий.

Легированные стали, содержащие хром, молибден, ванадий, вольфрам, титан и др., отжигают при температурах 1050...1250 °С в течение 8...20 ч. Алюминиевые сплавы отжигают при температурах от 440 до 640 °С в зависимости от химического состава сплавов. Магниевые сплавы гомогенизируют при температурах 390...415 °С при времени выдержки 18...24 ч.

Рекристаллизационный отжиг. Выполняют для снятия эффекта упрочнения, вызванного холодной пластической деформацией. Нагрев металла проводится до температуры на 100...200 °С выше температуры начала рекристаллизации с выдержкой при данной температуре и последующим медленным охлаждением. Температура отжига определяется из выражения $T_{рек} = 0,4 \cdot T_{пл}$.

Отжиг для снятия внутренних напряжений. Внутренние напряжения в металле могут возникать в результате различных видов обработки. Это могут быть термические напряжения, образовавшиеся в результате неравномерного нагрева, различной скорости охлаждения отдельных частей детали после горячей деформации, литья, сварки, шлифовки и резания; могут быть структурные, т. е. появившиеся в результате структурных превращений, происходящих внутри детали в различных местах с различной скоростью. Этот отжиг проводится при температурах $t_{отж} = 0,2 \dots 0,3 T_{пл}$.

Отжиг второго рода. При отжиге второго рода сталь нагревается на 30...50 °С выше критических точек A_{c1} или A_{c3} с последующим медленным охлаждением, как правило, вместе с печью. В зависимости от температуры нагрева стали различают *полный и неполный отжиг*. При полном отжиге нагрев ведется на 30...50 °С выше точки A_{c3} , при неполном – в область межкритических температур ($A_{c1} < t_{нагрева} < A_{c3}$).

Полный отжиг приводит к полной перекристаллизации (все составляющие исходной структуры при температуре нагрева переходят в аустенит). При неполном отжиге перекристаллизацию испытывает только перлит; феррит в доэвтектоидной стали и вторичный цементит в заэвтектоидной стали перекри-

сталлизовываются частично. Отжиг приводит к снижению твердости, повышению пластичности и получению однородной мелкозернистой структуры. Для доэвтектоидных сталей, как правило, проводится *полный отжиг*, для заэвтектоидных – *неполный*.

При неполном отжиге заэвтектоидных сталей нагрев проводится на 30...50 °С выше A_{c1} . Так как в заэвтектоидных сталях количество вторичного цементита, по сравнению с перлитом, относительно невелико, при неполном отжиге они испытывают практически полную перекристаллизацию. Нерастворившиеся при нагреве частицы цементита вторичного (присутствующие в структуре в небольшом количестве) являются центрами кристаллизации для цементита, образующегося при последующем охлаждении ниже точки A_{c1} в результате эвтектоидного распада аустенита. В этом случае цементит принимает зернистую форму.

Закалка. Для сталей закалкой называется такой вид термической обработки, который заключается в нагреве на 30...50 °С выше точки A_{c3} или A_{c1} , выдержке для завершения фазовых превращений и последующем охлаждении со скоростью, как правило, выше критической V_k . При охлаждении со скоростью выше критической аустенит переохлаждается ниже температуры точки M_n , при которой атомы железа и углерода практически теряют диффузионную подвижность, и происходит бездиффузионная перестройка гранцентрированной решетки аустенита в тетрагональную объёмно-центрированную решетку мартенсита. При этом весь углерод остается в твердом растворе $Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_\alpha(C)$. Таким образом, **мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в α -железе.**

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. Доэвтектоидные стали подвергают полной закалке. Оптимальным является нагрев на 30...50 °С выше точки A_{c3} . В качестве охлаждающей среды для углеродистых сталей применяют воду. В результате такой обработки получается структура мартенсита с небольшим количеством остаточного аустенита.

В случае нагрева под неполную закалку (выше A_{c1} , но ниже A_{c3}) доэвтектоидная сталь имеет структуру аустенита и феррита, а заэвтектоидная – аустенита и вторичного цементита. При охлаждении со скоростью больше критической аустенит превращается в мартенсит, а феррит в доэвтектоидной стали и вторичный цементит в заэвтектоидной не претерпевает фазовых превращений. **Количество избыточных фаз (феррита или цементита) зависит от температуры закалки.** Чем ближе температура нагрева к точке A_{c3} , тем меньше в структуре закаленной стали избыточных фаз.

С целью улучшения структуры и свойств цветных металлов и сплавов их также подвергают закалке. Так, для алюминиевых сплавов температура закалки, в зависимости от химического состава, составляет 465...540 °С. Скорость охлаждения при закалке необходимо подбирать так, чтобы состав алюминиевого сплава не подвергался распаду. В результате в полученном после закалки твердом растворе содержание легирующих элементов значительно превышает их предельную равновесную концентрацию при комнатной температуре, т. е. образуется твердый раствор, пересыщенный легирующими элементами. Для получения оптимальных механических свойств после закалки изделие подвергают

старению. Сплавы меди Cu–Ni2–Si и Cu–Be–Co закаливают при температуре 750...780 °С, Cu–Al10–Fe–Ni – при 890...910 °С.

В промышленности широко применяются **алюминиевые бронзы** марок Бр.А5, Бр.А7 и бронзы, дополнительно легированные никелем, марганцем, железом и другими элементами, например Бр.АЖН10-4-4. Данные сплавы подвергают закалке в воде с 880...900 °С. Структура сплава после закалки состоит из мартенсита, после отпуска – из тонкой механической смеси; прочность бронзы $\sigma_s = 550$ МПа, $\delta = 5\%$, твердость НВ 380...400.

Бериллиевая бронза Бр.Б2 обладает уникальными свойствами – высокая прочность и упругость при одновременной химической стойкости, немагнитность и способность к термическому упрочнению. Для достижения таких свойств бронзу подвергают закалке при 800...820 °С с охлаждением в воде, что обеспечивает получение пересыщенного твердого раствора бериллия в основе. Затем проводят искусственное старение при 300...350 °С, что позволяет достичь прочности сплава $\sigma_b = 1300$ МПа и твердости 37...40 НРС.

Отпуск. После закалки в большинстве случаев для сталей и сплавов проводят отпуск. Для сталей *под отпуском понимается совокупность операций, заключающихся в нагреве закаленной стали до температуры ниже критической точки A_{c1} , выдержке и охлаждении до комнатной температуры. Температура отпуска цветных металлов и сплавов в первую очередь зависит от химического состава.* Практическими целями отпуска являются уменьшение закалочных напряжений, получение нужного комплекса механических свойств (прочности, пластичности и вязкости).

Отпуск приводит к снижению твердости, прочности и повышению пластичности. Причем влияние на указанные свойства тем больше, чем выше температура отпуска.

Для сталей в зависимости от температуры нагрева различают три разновидности отпуска: *низкий, средний и высокий.*

Низкий отпуск проводят путем нагрева закаленной стали до 200 °С. При этом образуется структура отпущенного мартенсита. Такой отпуск наиболее часто применяется при термической обработке инструментальных сталей и изделий после цементации.

При *среднем отпуске* нагрев закаленной стали производится до температур 350...450 °С, при этом образуется структура троостита отпуска. Троостит отпуска состоит из дисперсных частиц феррита и цементита. Сталь со структурой троостита отпуска имеет высокий предел упругости. Поэтому средний отпуск обычно применяют при термической обработке рессор и пружин.

При *высоком отпуске* нагрев закаленной стали производится до температур 500...650 °С; образуется структура – сорбит отпуска. Он имеет хорошее сочетание свойств: прочность, пластичность и вязкость. Закалка стали с последующим высоким отпуском на сорбит носит название термического улучшения. Эта обработка рекомендуется для среднеуглеродистых конструкционных сталей.

Старение. Это вид термической обработки, при котором в сплаве протекает распад пересыщенного твердого раствора, зафиксированного в результате быстрого охлаждения от высоких температур (закалка). Для многих сплавов

старение проводится как специальная операция термической обработки, обеспечивающая получение комплекса важных механических или физических свойств. Старение, или «дисперсионное твердение», – основной способ упрочняющей термической обработки сплавов на основе алюминия, магния, меди, никеля. В результате выдержки сплава ниже температуры предшествующей закалки из пересыщенного твердого раствора выделяются дисперсные (0,01...1 мкм) включения, что приводит к значительному повышению механических свойств материала.

Задание к работе

- 1 Дать определение основных видов термической обработки, указать их цель.
- 2 Изучить влияние температуры нагрева и скорости охлаждения на фазовые превращения и структуру стали с различным содержанием углерода.
- 3 Изучить влияние отпуска на фазовые превращения и характер образующихся микроструктур.
- 4 Изучить структуру предложенных шлифов, изобразить ее и указать структурные составляющие и фазы.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определения термической обработки, отжига 1-го и 2-го рода закалки, отпуска.
- 2 Описать разновидности отжига 1-го и 2-го рода, указать их режимы и назначение.
- 3 Указать преимущества нормализации и изотермического отжига.
- 4 Дать определения закалки, полной и неполной, указать область ее применения.
- 5 Дать определение отпуска, указать виды отпуска и область их применения.
- 6 Дать определение старению, указать область его применения.

5 Практическая работа № 5 Структура, свойства и область применения конструкционных легированных сталей.

Цель работы: изучение маркировки, термической обработки и области применения легированных сталей.

По назначению легированные стали делятся на *конструкционные, инструментальные, стали с особыми свойствами*. Конструкционные стали применяются для изготовления деталей машин и механизмов, *инструментальные* – для различного инструмента (режущего, штампового, измерительного). К *сталям с особыми свойствами* относятся стали, обладающие каким-либо резко выраженным свойством: *нержавеющие, жаропрочные, износостойчивые и т. д.*

Маркировка сталей буквенно-цифровая. Все легирующие элементы имеют буквенное обозначение: например, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий. *Цифры в начале марки* – среднее содержание углерода (для конструкционных сталей – в сотых долях процента, а для инструментальных – в десятых долях процента). *Цифры после букв* показывают примерное содержание легирующих элементов в целых процентах, отсутствие цифр указывает, что содержание 1,0... 1,5 %. Буква А в конце марки показывает, что стали *высококачественные* ($< 0,025$ % фосфора и $< 0,025$ % серы). Например: сталь 12Х2Н4А – конструкционная высококачественная сталь, содержащая: С – 0,12 %, Cr – 2 %, Ni – 4 %; сталь 3Х2В8 – инструментальная, содержащая: С – 0,3 %, Cr – 2 %, W – 8 %.

Конструкционные стали. Конструкционные стали делятся на различные группы, которые отличаются друг от друга разным содержанием углерода и режимами термической обработки.

Цементируемые стали имеют низкое содержание углерода (не более 0,25 %) и подвергаются цементации – поверхностному насыщению углеродом с последующей закалкой и низким отпуском. Твердость поверхностного слоя после этого достигает HRC60, а сердцевины – HRC 15...30. К цементируемым сталям относятся 15Х, 20Х, 15ХР, 20ХГР, 18ХГТ.

Рассмотрим термическую обработку низколегированной цементируемой стали 20Х. Сталь применяется для изготовления конструкционных деталей повышенной прочности – шестерней, втулок, осей, поршневых колец. Термическая обработка деталей из этой стали заключается в цементации, неполной закалке и низком отпуске. После цементации изделия имеют высокоуглеродистую поверхностную зону, содержание углерода в которой достигает 1,1 %, и низкоуглеродистую сердцевину с содержанием углерода 0,2 %.

После термической обработки поверхностный слой имеет структуру мартенсита отпуска с включениями цементита, а сердцевина – структуру бейнита с включениями феррита.

Улучшаемые стали содержат 0,3...0,5 % углерода и легирующие элементы: хром, никель, молибден и др. Суммарное количество легирующих элементов может достигать 5 %. Наиболее распространенными являются стали 40Х, 40ХР, 30ХМ, 40ХГ, 40ХНМ, 40ХН. Термическая обработка этих сталей заключается в закалке и высоком отпуске (улучшении). Рассмотрим термическую обработку улучшаемых сталей на примере стали 40ХНМ. Комплексное легирование приводит к увеличению прокаливаемости (критический диаметр равен 70 мм). Наличие никеля вызывает снижение порога хладноломкости до -80 °С. После полной закалки сталь имеет структуру мартенсита. Последующий высокий отпуск обеспечивает получение структуры сорбита.

Шарикоподшипниковые стали. Шарикоподшипниковые стали применяют для изготовления шариков, роликов и колец подшипников качения.

Выделяют следующие группы шарикоподшипниковых сталей:

– стали для подшипников, работающих в обычных условиях. Это стали марок ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, ШХ4;

– стали для подшипников, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре (коррозионностойкая, теплостойкая). Это стали марок 95X18 или 95X18-Ш, 8X4M4BФ1-Ш. Буква Ш указывает на то, что сталь выплавлена методом электрошлакового переплава. Также используют стали марок 8X4B9Ф2, 11X18M-ШД (ШД показывает, что сплав получен вакуумно-дуговым переплавом стали электрошлакового переплава).

Шарикоподшипниковые стали содержат около 1 % углерода. Для них выполняют неполную закалку с последующим низким отпуском, что обеспечивает получение высокой твердости и износостойкости.

Твёрдость внутренних слоёв металла зависит от глубины прокаливаемости, которая в свою очередь зависит от содержания хрома. Хром увеличивает прокаливаемость стали, поэтому, чем крупнее детали подшипников, тем с большим содержанием хрома (0,4...1,65 %) и других легирующих элементов применяют сталь для их изготовления.

Кроме изготовления деталей подшипников, подшипниковые стали также применяются для производства игл распылителей форсунок, обратных клапанов и подушек впрыскивающих систем, валиков топливных насосов, роликов, осей различных рычагов и других деталей, от которых требуется высокая твёрдость и хорошее сопротивление износу.

Пружинно-рессорные стали. Стали, используемые для изготовления пружин, имеют высокий модуль упругости, ограничивающий упругую деформацию. Их применяют для изготовления упругих элементов в авто- и тракторостроении, железнодорожном транспорте, станкостроении, приборостроении. Они содержат 0,5...0,7 % углерода. Подвергаются **закалке и среднему отпуску** при температуре 420...520 °С. Образуется структура **троостита**.

Стали 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г используют для работы при температурах до 100 °С. Из них изготавливают пружины небольшого сечения. Основная цель введения легирующих элементов – это повышение прокаливаемости.

Дешевые кремнистые стали 55С2, 60С2, 70С3А стойки к росту зерна при нагреве под закалку. Стали 50ХФА, 50ХГФА подвергают отпуску при 520 °С. Они обладают теплостойкостью, повышенной вязкостью, меньшей чувствительностью к надрезу. Их используют для рессор легковых автомобилей, клапанных и других пружин ответственного назначения, которые могут работать при температурах до 300 °С.

Стали 60С2ХА и 60С2Н2А применяются для крупных тяжело нагруженных и особо ответственных пружин и рессор. Наиболее высокие механические свойства имеют стали 70С3А, 60С2ХА и 60С2Н2А. Однако эти стали чувствительны к концентраторам напряжений, в связи с чем особое внимание оказывается состоянию поверхности изделия.

Стали с особыми свойствами. В эту группу входят стали, обладающие высокой коррозионной стойкостью, жаростойкостью, износостойкостью, особыми магнитными свойствами. Широкое применение в промышленности получили хромистые и хромоникелевые нержавеющей стали.

Хромистые нержавеющие стали являются наиболее экономичными и широко распространенными.

В зависимости от содержания хрома и углерода стали могут относиться к ферритному, мартенситному или ферритно-мартенситному классу. Стали 12X13, 20X13, 30X13 подвергают полной закалке и высокому отпуску. Из них изготавливают детали, работающие в слабоагрессивных средах (шестерни, валы, арматуру, листы, крепежные элементы и т. д.). Сталь 12X13 используют для различных свариваемых емкостей, взаимодействующих со слабоагрессивными средами (водяным паром, водными растворами солей). Кроме того, эта сталь обладает жаростойкостью до 700 °С, в связи с чем ее используют для изготовления деталей печей.

Сталь 30X13 более прочна и ее применяют в овощеперерабатывающей и хлебопекарной промышленности для деталей, испытывающих повышенный износ и соприкасающихся с агрессивными средами (ножи, пружины, подшипники, корпуса насосов).

Стали с большим содержанием хрома (17...18 %) обладают более высокой коррозионной стойкостью. Они используются для изготовления узлов механизмов, требующих повышенной прочности, а также для работы при температурах до 900 °С.

Сталь 95X18 используют для коррозионностойких подшипников, втулок, колец и обойм. Стали 08X17T и 12X17T рекомендуются как заменители никель-хромовой стали 12X18H10T для изготовления емкостей, не испытывающих больших ударных нагрузок. Высокохромистые стали с содержанием 25...28 % Cr используют как жаростойкие при температурах до 1050...1150 °С. Сталь 12X18H9T устойчива во многих водных растворах кислот, щелочей, солей.

Задание к работе

1 Изучить влияние легирующих элементов на полиморфизм стали, стойкость переохлажденного аустенита, мартенситное превращение, превращения при отпуске; классификацию и маркировку сталей.

2 Изучить структуры предложенных шлифов, зарисовать и указать структурные составляющие, фазы, спрогнозировать свойства.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислить основные группы легированных конструкционных сталей.
- 2 Цементируемые стали и их маркировка.
- 3 Улучшаемые стали и область их применения.
- 4 Маркировка и область применения шарикоподшипниковых сталей.
- 5 Маркировка и область применения пружинно-рессорных сталей.
- 6 Назначение и маркировка сталей с особыми свойствами.

6 Практическая работа № 6. Химико-термическая обработка стали

Цель работы: ознакомление с основами химико-термической обработки; изучение основных видов химико-термической обработки, структуры слоев стали после ХТО; область применения ХТО.

Химико-термической обработкой (ХТО) называют технологические процессы, приводящие к диффузионному насыщению поверхностного слоя деталей различными элементами. ХТО применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии. При ХТО деталь помещают в среду, богатую насыщающим элементом.

В машиностроении наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются *цементация, азотирование, цианирование (нитроцементация), борирование, хромирование, алитирование.*

Цементация стали. Технологический процесс диффузионного насыщения углеродом называется **цементацией**. Цель цементации – получить детали машин и механизмов с твердой и износоустойчивой поверхностью при сохранении вязкой, хорошо выдерживающей динамические нагрузки сердцевины. Цементированные изделия предназначены для работы при знакопеременных нагрузках и в условиях трения и износа.

Цементации подвергают зубчатые колеса, валы, оси, распределительные валики, кулачки, червяки, изготовленные, как правило, из малоуглеродистой стали с содержанием углерода не более 0,3 %. Цементация проводится путем нагрева и длительной выдержки деталей в науглероживающей среде при температуре аустенитного состояния стали (900...950 °С). Цементацию наиболее часто осуществляют в газовой среде или в твердом карбюризаторе.

Обычно цементацию проводят таким образом, чтобы содержание углерода в поверхностной зоне диффундирующего слоя не превышало 1,2 %. После цементации изделия подвергаются неполной закалке с последующим низким отпуском. Твердость поверхности достигает значения HRC 62. Твердость сердцевины определяется химическим составом стали и находится в пределах HRC 15...35. В зависимости от упрочнения сердцевины цементируемые стали делятся на три группы: *углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной (10, 15, 20), низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной (15X, 20X, 15XP, 20XN), высоколегированные стали с упрочняемой сердцевиной (20XГР, 20XНР, 18XГТ, 30XГТ, 12XНЗ, 12X2Н4, 18X2Н4В).*

Азотированием называется процесс поверхностного насыщения стали азотом. Оно применяется в целях повышения твердости, износостойкости и предела усталости, а также коррозионной стойкости деталей машин. Процесс азотирования проводится при 480...650 °С в течение 1...90 ч в среде газообразного аммиака.

Для повышения твердости и износоустойчивости процессу азотирования подвергают специальные стали, получившие название *нитраллои*. Они содержат алюминий, хром, молибден, которые образуют стойкие против коагуляции

и роста нитриды. Наиболее часто азотированию подвергают стали 35ХМЮА, 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 35ХМА. Азотирование проводится при 500...520 °С. Твердость азотированного слоя достигает 1000 HV.

Азотирование является окончательной обработкой. Термическая обработка – улучшение, заключающаяся в закалке и высоком отпуске, предшествует азотированию.

Азотированию подвергают такие детали, как гильзы гидроцилиндров и коленчатые валы дизелей, валы, шпиндели, ходовые винты и трубчатые изделия в станкостроении, шестерни скоростных малонагруженных зубчатых передач, червяки, валики, шпиндели шлифовальных станков и некоторые инструменты (метчики, штампы и др.).

Цианированием называется процесс одновременного насыщения поверхности деталей углеродом и азотом. Различают высокотемпературное и низкотемпературное цианирование.

Высокотемпературное цианирование проводят при 800...900 °С. Цель его – повысить твердость, износостойкость и усталостную прочность деталей машин из малоуглеродистых и среднеуглеродистых простых и легированных сталей. После высокотемпературного цианирования следует закалка и низкий отпуск.

Низкотемпературное цианирование проводят при 540...580 °С и применяют в основном для повышения стойкости окончательно термически обработанного инструмента из быстрорежущей стали.

Газовое цианирование называют **нитроцементацией**. Этот процесс осуществляют в смеси науглероживающих и азотирующих газов. В качестве науглероживающего может быть любой газ, применяемый при газовой цементации. Азотирующим газом является аммиак. Структура цианированного слоя определяется количеством углерода и азота, находящихся в нем. На состав и свойства цианированного слоя особое влияние оказывает температура цианирования. Повышение ее увеличивает содержание углерода в слое, снижение – увеличивает содержание азота.

После закалки и низкого отпуска цианированный слой представляет собой карбонитридный мартенсит с включениями карбонитридных фаз.

Цианирование применяют при изготовлении поршневых пальцев, крестовин карданного шарнира, конических шестерен заднего моста, полуосевых шестерен, сателлитов, крестовин дифференциала, червяков рулевого управления, валов и шестерен коробок передач, осей шестерен заднего хода, крестовин заднего хода и т. д.

Борирование – это диффузионное насыщение поверхностного слоя бором. Процесс проводится с целью повышения поверхностной твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости. Наиболее перспективны для промышленного использования борирование в порошкообразных смесях, в расплавах солей и газовое борирование.

Борирование сталей проводят при температурах 800...1050 °С в течение 2...10 ч.

Средне-, тяжело нагруженные детали после борирования подвергаются закалке и отпуску.

Борирование используют для упрочнения различных деталей машин, технологической оснастки и инструмента, работающих в условиях интенсивного износа. Борированию подвергают сита центрифуг, втулки быстроходных дизелей, втулки буровых насосов, диски пяты турбобуров и штоки буровых насосов, штамповую оснастку, поршни машин литья под давлением, пальцы черпаковой цепи земснаряда и т. д. При этом стойкость борированных изделий может увеличиваться более чем на порядок в зависимости от условий работы детали.

Хромирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностных деталей хромом. Хромирование железа и сталей с содержанием углерода менее 0,2 % проводят с целью повышения коррозионной стойкости в различных агрессивных средах и жаростойкости. Стали с содержанием углерода более 0,3 % подвергают хромированию прежде всего для повышения твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости и жаростойкости.

Хромирование осуществляют в порошковых смесях, в газовой и жидкой средах.

Хромирование применяется для повышения стойкости штампового инструмента, пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов, различных деталей двигателей и газовых турбин, работающих при высоких температурах, фильтров нефтяных скважин, деталей насосов и турбобуров, крепежных деталей.

Алитирование – насыщение поверхности стали алюминием. В результате этого процесса сталь приобретает высокую окислительную стойкость (до 850...900 °С), так как в процессе нагрева на поверхности алитированных изделий образуется плотная пленка окиси алюминия Al_2O_3 , предохраняющая металл от окисления.

Алитирование проводят в порошкообразных смесях (50 % Al или ферроалюминия, 49 % Al_2O_3 и 1 % NH_4Cl или 99 % ферроалюминия и 1 % NH_4Cl) при температуре 1000 °С и выдержке в течение 8 ч. В результате образуется слой в 0,4...0,5 мм, насыщенный алюминием. Алитирование выполняется также металлизацией в расплаве алюминия (с 6...8 % железа) при 700...800 °С с последующей выдержкой и др. методами.

Твердость алитированного слоя (на поверхности) до 500 HV, а износостойкость невысокая. Алитирование поверхности стальных и других металлических деталей проводится с целью повышения окислительной стойкости до температуры 1100 °С и сопротивления атмосферной коррозии. Его применяют при изготовлении клапанов автомобильных двигателей, лопаток и сопел газовых турбин, деталей аппаратуры для крекинга нефти и газа, труб пароперегревателей, печной арматуры и т. п. В расплаве алюминия оно используется вместо горячего цинкования (листы, проволока, трубы, строит, детали).

Задание к работе

- 1 Изучить теорию и технологию химико-термической обработки.
- 2 Провести микроанализ шлифов, подвергнутых химико-термической обработке, определить и записать микроструктуру диффузионных слоев и сердцевины, указать их свойства.

Контрольные вопросы

- 1 Указать среды, в которых проводится цементация стали.
- 2 Для чего используют нитраллои?
- 3 Указать виды цианирования.
- 4 Борирование и область его применения.
- 5 С какой целью проводят хромирование сталей?

7 Практическая работа № 7. Цветные металлы и сплавы

Цель работы: изучение микроструктуры и свойств цветных металлов и сплавов и установление связи между структурой сплава и соответствующей диаграммой состояния.

Алюминий и его сплавы. Алюминий имеет небольшой удельный вес ($\gamma = 2,7$), низкую температуру плавления ($657\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокую тепло- и электропроводность, высокую пластичность. Он является одним из важнейших промышленных металлов и находит широкое применение в электротехнике, в химическом аппаратостроении и др. Применение его как конструкционного материала в технике ограничено низкой прочностью ($\sigma_B = 8 \dots 10\text{ кг/мм}^2$).

Алюминий значительно упрочняется путем введения различных легирующих элементов, что позволяет получить сплавы с высокими прочностными свойствами.

Применяющиеся в технике алюминиевые сплавы делятся на *деформируемые* и *литейные*.

Деформируемые сплавы. Сплавы этого класса подразделяются на неупрочняемые термической обработкой и упрочняемые.

К деформируемым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся бинарные сплавы алюминия с марганцем или магнием АМц (с $1,0 \dots 1,6\%$ марганца) либо АМг2, АМг3, АМг5, АМг6 (содержат от 2 до 6 % магния).

Сплавы АМг, АМц представляют собой однофазные твердые растворы, обладающие высокой пластичностью, свариваемостью, но низкими прочностью и твердостью. Повысить их прочность можно за счет наклепа, возникающего при холодной пластической деформации. Для них характерна широкая область применения: трубные конструкции, различные емкости для жидкостей (баки, цистерны), радиаторы охлаждения, элементы строительных конструкций (окна, двери), посуда и т. д. Также из сплавов этой группы изготавливают детали реактивных и турбовинтовых двигателей самолетов, детали конструкций ракет и искусственных спутников. Сплав АМг-3 и другие сплавы этой системы используют для транспортных систем в сахарной промышленности, для труб теплообменных аппаратов в выпарных установках.

К сплавам, *упрочняемым термической обработкой*, относятся дуралюмины, ковочные и высокопрочные алюминиевые сплавы.

Дуралюминами называют сплавы, относящиеся к системе Al–Cu–Mg, в которые дополнительно вводят марганец. При закалке дуралюмины нагревают до 495...505 °С (Д16) и до 500...510 °С (Д1) и затем охлаждают в воде при 40 °С. После закалки структура состоит из пересыщенного твердого раствора и нерастворимых фаз, образуемых примесями. Далее сплавы подвергают естественному или искусственному старению.

Естественное старение продолжается 5...7 сут. Длительность старения значительно сокращается при увеличении температуры до 40 °С и особенно до 100 °С. Для упрочнения дуралюминов, как правило, применяют закалку с естественным старением, так как в этом случае сплавы обладают лучшей пластичностью и менее чувствительны к концентраторам напряжений.

Искусственному старению (190 °С, 10 ч) подвергают лишь детали, используемые для работы при повышенных температурах (до 200 °С).

Ковочные алюминиевые сплавы маркируют буквами АК. Они обладают хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей пластической деформации. По химическому составу сплавы близки к дуралюминам, отличаясь более высоким содержанием кремния. Ковку и штамповку сплавов ведут при 450...475 °С. Их применяют после закалки и искусственного старения. Из этих сплавов изготавливают поршни авиационных двигателей, лопасти винтов, крыльчатки насосов, детали легковых и грузовых автомобилей и др.

Высокопрочные алюминиевые сплавы маркируют буквой В. Они отличаются высоким пределом прочности (600...700 МПа) и близким к нему по значению пределом текучести. Высокопрочные сплавы относятся к системе Al–Zn–Mg–Cu и содержат добавки марганца и хрома или циркония. Цинк, магний и медь образуют фазы, обладающие переменной растворимостью в алюминии ($MgZn_2$, $CuMgAl_2$ и $Mg_3Zn_3Al_2$). При 480 °С эти фазы переходят в твердый раствор, который фиксируется закалкой. При искусственном старении происходит распад пересыщенного твердого раствора с образованием тонкодисперсных частиц метастабильных фаз, вызывающих максимальное упрочнение сплавов. Наибольшее упрочнение вызывают закалка (465...475 °С) и старение (140 °С) в течение 16 ч. После такой обработки сплава В95 предел прочности достигает 600 МПа, предел текучести – 550 МПа, относительное удлинение – 12 %, твердость – до 150 НВ.

Сплав В96 имеет более высокие прочностные свойства (σ_s до 700 МПа; $\sigma_{0,2}$ до 650 МПа; твердость до 190 НВ), но пониженные пластичность (δ до 7 %) и вязкость разрушения. Для повышения этих характеристик сплавы подвергают двухступенчатому смягчающему старению при 100...120 °С в течение 3...10 ч (первая ступень) и 160...170 °С в течение 10...30 ч (вторая ступень). После смягчающего старения у сплава В95 предел прочности не превышает 590 МПа, предел текучести – 470 МПа, а относительное удлинение повышается до 13 %.

Сплавы применяют для высоконагруженных деталей конструкций, работающих в основном в условиях напряжения сжатия (обшивка, стрингеры, шпангоуты, лонжероны самолетов).

Литейные сплавы. В качестве литейных сплавов на основе алюминия широкое распространение имеют *силумины* – алюминиевокремистые сплавы (5...14 % Si). Силумины обладают высокой жидкотекучестью, малой усадкой, удовлетворительной коррозионной стойкостью и применяются для получения отливок сложной формы. Типичным силумином является эвтектический сплав (11...12 % Si), структура которого имеет игольчатую эвтектику (основа сплава), состоящую из твердого раствора кремния в алюминии α и небольшого количества грубых игольчатых включений Si.

Механические свойства силуминов зависят от химического состава, технологии изготовления, а также термической обработки. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния до эвтектического состава (12...13 %) снижается пластичность и повышается прочность. Появление в структуре сплавов крупных кристаллов первичного кремния вызывает снижение прочности и пластичности.

Несмотря на переменную растворимость кремния (от 0,05 % при 200 °С до 1,65 % при эвтектической температуре), двойные сплавы не упрочняются термической обработкой. Единственным способом повышения механических свойств этих сплавов является измельчение структуры путем модифицирования натрием. Помимо модифицирующего действия, натрий сдвигает эвтектическую точку в системе Al–Si в сторону больших содержаний кремния. Благодаря этому эвтектический по составу сплав (АЛ2) становится доэвтектическим. В его структуре, помимо мелкокристаллической эвтектики, появляются пластичные выделения первичного алюминия. Все это приводит к увеличению пластичности и прочности.

Маркировка сплавов АЛ2: буквы указывают, что это алюминиевый (А), литейный (Л) сплав; цифры – порядковый номер в ГОСТе.

Для легирования силуминов часто используют Mg, Cu, Mn, Ti и др.

Магний и медь, обладая переменной растворимостью в алюминии, способствуют упрочнению силуминов при термической обработке, состоящей, как правило, из закалки и искусственного старения. Сплавы системы АМ4, АМ5 хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Они характеризуются высокой прочностью при обычных и повышенных температурах (до 300 °С, но обладают плохими литейными свойствами). Это объясняется образованием в данной системе эвтектики при высоком содержании меди (33 %), которое не достигается в промышленных сплавах. Литейные и механические свойства улучшаются в результате легирования титаном и марганцем (АМ5). Марганец, образуя пересыщенный твердый раствор при кристаллизации из жидкого состояния, способствует значительному упрочнению сплава.

Медь и ее сплавы. Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку. Удельный вес меди 8,94 г/см³, температура плавления 1083 °С. Она обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью, пластичностью в горячем и холодном состояниях и широко применяется в различных областях техники. Кроме того, медь является основой важнейших сплавов – *латуней* и *бронз*.

Сплавы меди с цинком (латуни). Практическое применение имеют сплавы с содержанием цинка до 45 %, которые называются латунями. По структуре латуни делятся на две группы:

1) сплавы с содержанием цинка до 39 % являются однофазными со структурой твердого раствора цинка и меди (α);

2) сплавы с содержанием цинка более 39 % имеют двухфазную структуру ($\alpha+\beta$); β -твердый раствор на базе соединения CuZn с электронным типом связи имеет кубическую объемно-центрированную решетку.

Цинк до определенного предела повышает прочность и пластичность сплавов. Максимальной пластичностью обладают материалы со структурой однофазного твердого раствора. Переход через границу однофазной области (39 % Zn) приводит к резкому снижению пластичности, повышению прочностных и литейных свойств. Максимальной прочностью обладает β -латунь при содержании цинка 45 %. Однако пластичность ее относительно низка.

Кроме простых латуней – сплавов меди и цинка, применяются специальные латуни, в которые для придания тех или иных свойств дополнительно вводят различные элементы. Свинцовые латуни обладают хорошими механическими свойствами, легко обрабатываются резанием, их применяют для изготовления деталей горячей штамповкой или резанием. Например, латунь ЛЖС58-1-1 содержит 58 % меди, 1 % железа, 1 % свинца, остальное – цинк. Оловянистые латуни (например, ЛО70-1 содержит 70 % меди, 1 % олова, остальное – цинк) обладают высоким сопротивлением коррозии; никелевые (например, ЛН 65-5 содержат 5 % меди, 5 % никеля, остальное – цинк) обладают высокой прочностью, высокими антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Применяют эту латунь вместо бронзы при изготовлении вкладышей подшипников скольжения и др.

Деформируемые латуни выпускают в виде горяче- и холоднокатаных протянутых и прессованных изделий (проволока, полосы, листы, ленты, трубы, прутки и др.) в мягком (отожженном), полутвердом (степень обжатия 10...30 %), твердом (30..50 %) и особо твердом (более 60 %) состояниях.

Марки латуней начинаются с буквы Л, далее следуют буквы, указывающие наличие определенных легирующих элементов; цифры указывают концентрацию меди и легирующих элементов.

Литейные латуни содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением. От последних их отличает, как правило, большее легирование цинком и другими металлами.

Обозначаются буквой Л, после которой идет буквенное обозначение легирующего элемента с цифрой, указывающей его содержание в сплаве; содержание меди не указывается. Например, ЛЦ23А6ЖЗМц2 содержит 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца.

Бронзы. Бронзами называются сплавы меди с другими элементами (за исключением цинка). В зависимости от основного легирующего элемента бронзы разделяются на *оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, марганцовистые* и т. д. Марки бронз начинаются с букв Бр. Далее следуют буквы, показывающие наличие определенных легирующих элементов, и цифры, указывающие их содержа-

ние. Бронзы применяют для получения отливок и поковок. Дорогостоящие и дефицитные оловянистые бронзы в настоящее время заменяются алюминиевыми.

Алюминиевая бронза. Наиболее распространены алюминиевые бронзы, содержащие 5...11 % Al. Сплавы с содержанием алюминия до 9,8 % имеют однофазную структуру твердого раствора алюминия в меди (α). При больших концентрациях алюминия сплавы имеют двухфазную структуру, состоящую из твердого раствора (α) и эвтектоида ($\alpha + \gamma'$).

Алюминиевые бронзы среди медных сплавов выделяются высокими механическими, коррозионными и антифрикционными свойствами, в связи с чем их широко используют в машиностроении для деталей конструкционного назначения. Наряду с простыми алюминиевыми бронзами используют сложные бронзы. При введении железа до 4 % происходит измельчение α -фазы, повышение твердости и прочности бронзы за счет его растворения в меди. Легирование никелем приводит к повышению жаропрочности бронз.

Бериллиевая бронза обладает исключительно ценными качествами. Она имеет высокую прочность и твердость, повышенный предел упругости и усталости. Бериллиевая бронза является ценным пружинным материалом, она с успехом применяется для изготовления деталей, работающих на износ. Этот материал не дает искр при ударе.

Наиболее высокие механические свойства имеют сплавы с 2,0...2,5 % бериллия. Они являются дисперсионно-твердеющими. Растворимость бериллия в меди при комнатной температуре не превышает 0,2 %. Закалка с 800 °С фиксирует пересыщенный раствор бериллия в меди. Последующее искусственное старение при 300...350 °С приводит к резкому повышению твердости и прочности, которое связано с выделением из твердого раствора γ (CuBe_{11}) – фазы в форме дисперсных включений.

Широкому распространению бериллиевой бронзы препятствует ее высокая стоимость и дефицитность.

Легкоплавкие подшипниковые сплавы (баббиты). Подшипниковыми сплавами называются материалы, из которых изготавливаются вкладыши подшипников скольжения. При применении очень мягких легкоплавких сплавов (баббитов) гарантируется минимальный износ шейки вала. Кроме того, они имеют минимальный коэффициент трения со сталью и хорошо удерживают смазку.

По условиям работы подшипниковый сплав должен иметь гетерогенную структуру и состоять из мягкой основы и твердых включений. Мягкая основа обеспечивает хорошую прирабатываемость подшипника к валу, твердые включения служат опорными точками для трущихся частей вала. Небольшая поверхность соприкосновения вала и вкладыша уменьшает трение, а имеющиеся промежутки между валом и мягкой основой обеспечивают хорошую смазку.

В качестве баббитов применяются сплавы системы Pb–Sb, Sn–Sb, Pb–Sn–Sb, а также баббиты на основе цинка с добавками Cu, Al и баббиты на основе алюминия с добавками Cu, Sb, Ni.

Широкое применение в промышленности получили заэвтектические сплавы системы свинец-сурьма (БС), содержащие 16...18 % Sb. Мягкой основой в этом сплаве является эвтектика ($\alpha + \beta$), твердость которой составляет 7...8 НВ. Твердость включений сурьмы составляет 30 НВ. В системе олово-сурьма (Sn-Sb) олово имеет низкую твердость – 5 НВ. Для подшипников скольжения наиболее подходящим является сплав, состоящий из 10...13 % Sb и 87 % Sn.

Задание к работе

1 Изучить маркировку и область применения сплавов на основе цветных металлов.

2 Изучить и зарисовать микроструктуры предложенных сплавов.

Контрольные вопросы

1 Дать характеристику сплавам на основе алюминия, указать область их применения.

2 Дать характеристику сплавам на основе меди, указать область их применения.

3 Дать характеристику легкоплавким подшипниковым сплавам, указать область их применения.

8 Практическая работа № 8. Пластические массы на основе термопластичных полимеров

Цель работы: ознакомление с принципами классификации пластических масс по характеру связующего вещества и по назначению; определение отличительных признаков различных видов пластмасс: по внешнему виду; характерным механическим свойствам; реакции на открытое пламя; по органолептическим показателям.

Замена металлических изделий на пластмассовые весьма эффективна: вес конструкции, трудоемкость изготовления, себестоимость продукции снижаются до 5 раз.

Полимерные органические соединения являются основой пластических масс. Полимерами называют вещества, молекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев – мономеров одинаковой структуры.

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Термопластичные полимеры при нагревании переходят из твердого агрегатного состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Это свойство термопластичные полимеры сохраняют при многократных нагревах. Термореактивные пластмассы при нагреве первоначально размягчаются, а затем переходят в неплавкое, нерастворимое, твердое состояние.

Термопластичными называют полимеры, способные многократно размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении. Эти и многие

другие свойства термопластичных полимеров объясняются линейным строением их макромолекул.

Однако на практике не все термопласты так просто можно перевести в вязкотекучее состояние, так как температура начала термического разложения некоторых полимеров ниже температуры их текучести (поливинилхлорида, фторпластов и др.). В таком случае используют различные технологические приемы, снижающие температуру текучести (например, вводя пластификаторы) или задерживающие термодеструкцию (введением стабилизаторов, переработкой в среде инертного газа).

К недостаткам термопластов относятся низкие теплостойкость (обычно не выше 80...120 °С), низкая поверхностная твердость, хрупкость при пониженных температурах и текучесть при высоких, склонность к старению под действием солнечных лучей и кислорода воздуха.

В промышленности широко используются такие полимеры, как полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, перхлорвинил, поливинилацетат и поливиниловый спирт, полиизобутилен, полиакрилаты.

Кроме полимеров, получаемых из одного мономера, синтезируют *сополимеры* – продукты, получаемые совместной полимеризацией (сополимеризацией) двух и более мономеров. В таком случае образуются материалы с новым комплексом свойств – сополимеры.

Полиэтилен представляет собой продукт полимеризации этилена. Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком, легко перерабатывается различными методами, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до – 70 °С). Полиэтилен склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы. Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и пресованных несилевых деталей, пленок, изоляции проводов и кабелей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии.

Полипропилен – производная этилена, жесткий нетоксичный материал с более высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом более теплостоек, сохраняет форму до 150 °С, однако его морозостойкость ниже – до – 15 °С. Применяется для изготовления труб, деталей автомобилей, мотоциклов, холодильников, корпусов насосов, емкостей, пленок.

Поливинилхлорид (ПВХ) – аморфный полимер белого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, химической стойкостью, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуется, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от –10 до + 70 °С). При нагревании разлагается с образованием ядовитых веществ и при пожаре представляет значительную опасность. Из винипласта изготавливают различные изделия – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов, облицовочную плитку, трубы и др.

Политетрафторэтилен – фторопласт-4. Является фторопроизводным продуктом этилена. В вязкотекучее состояние переходит при температуре 423 °С, прессование изделий производят при температуре 380 °С, т. к. при более высоких температурах выделяется токсичный фтор. Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей. Фторопласт-4 имеет *очень низкий коэффициент трения* ($f = 0,04$), сохраняет упругие свойства до 269 °С.

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, работающих в агрессивных средах; антифрикционных покрытий на металлических изделиях; высокочастотной аппаратуры, кабелей, конденсаторов, тонких изоляционных пленок.

Полистирол – твердый, жесткий, прозрачный полимер (пропускает 90 % света), обладает хорошими диэлектрическими свойствами, высокой химической стойкостью, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплоустойчивость (до 80 °С) и ударную вязкость. Для повышения вязкости производят сополимеризацию стирола с каучуками. Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения (корпуса телевизоров, радиоприемников, телефонных аппаратов, магнитофонов), для получения электроизоляционных пленок для радиодеталей, нитей, а также упаковочной пленки. Из него изготавливают тару для упаковки, трубы, внутреннюю отделку холодильников (морозоустойчивость до –70 °С), облицовочные материалы для внутренней отделки помещений, салонов автомобилей и т. д.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный полимер (пропускает 92 % света), стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и маслостоек, морозостоек (до –60 °С), растворяется в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре от +105 до +150 °С пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

Полиамид (капрон, нейлон и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью. Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно (до 30 %) или графит (до 10 %). Применяются для изготовления канатов, зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий на металлах.

Полиуретаны – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до –70 °С), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Применяются для изготовления труб, шлангов, уплотнителей, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

Полиэтилентерефталат (лавсан) – полиэфир, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур от – 70 до + 255 °С, в 10 раз прочнее полиэтилена, хорошо сваривается и склеивается.

Лавсан применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, а также в качестве корда в ременных передачах, в колесных шинах, различных транспортерных лентах, в качестве материала (ПЭТФ) бутылок для напитков.

Поликарбонат – полиэфир угольной кислоты. После быстрого охлаждения приобретает аморфную структуру и становится стеклообразным. Обладает высокими прочностью, ударной вязкостью, гибкостью, химически стоек. Из него изготавливают небьющуюся посуду, а также шестерни, подшипники и др. детали. В автомобильной, аэрокосмической и фотооптической промышленности его используют для производства деталей машин, роторов для корпусов насосов, вентиляторов, счетчиков, частей телефонов, фотоаппаратов, осветительных устройств на краях самолетов, окон в самолетах, медицинского оборудования, шлемов космонавтов и пилотов, рассеивателей и светофильтров осветительной аппаратуры.

Акрилонитрил-бутадиен-стирол (АБС) представляет собой сополимер, полученный полимеризацией стирола и акрилонитрила в присутствии полибутадиена.

АБС-пластик и композиции на его основе нашли широкое применение в автомобилестроении. Из него изготавливают панели, каркасы, щитки панели приборов, обрамление окон, облицовку дверей и другие детали салона, решетки радиатора, колпаки колес, корпуса фонарей и наружных зеркал, горловину воздухозаборника, облицовку дверей, бампер и др. Используется в приборо- и машиностроении, радио- и электротехнике для изготовления корпусов электроприборов, электроинструментов, аккумуляторов. На основе АБС-пластика изготавливаются дорожные знаки, элементы часовых механизмов, оптические инструменты.

Задание к работе

Изучить основные виды и область применения пластмасс на основе термопластичных полимеров.

Контрольные вопросы

Дать характеристику термопластам и указать области применения основных из них.

9 Практическая работа № 9. Пластические массы на основе термореактивных смол

Цель работы: ознакомление с основными видами термореактивных смол; изучение основных видов композиционных материалов на основе термореактивных смол, области их применения.

Термореактивные полимеры. Эти материалы изготавливаются на основе термореактивных смол – формальдегидных, аминокальдегидных, эпоксидных,

кремнеорганических, полиамидных, полиэфиров, которые являются связующим веществом. Смолы склеивают как отдельные слои наполнителя, так и элементарные волокна, воспринимая нагрузку одновременно с ними. Это полярные материалы, имеющие коэффициент линейного расширения, близкий к наполнителю – порошкам, волокнам и др.

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Обладают высокими атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой).

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, 5...15 % от массы смолы). Длительность отверждения – 24 ч. Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины. Отверждение проводят при температуре 100...180 °С в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и теплостойкость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам.

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве матрицы могут применяться материалы на полимерной, металлической и керамической основах. В зависимости от вида и структуры наполнителя композиты делятся на *дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные*.

Пластмассы с порошковыми наполнителями. Такой вид добавки представляют из себя порошки различного происхождения и размера частиц. Они могут быть как неорганические, например мел, тальк, порошкообразное стекло, так и органические, например древесная мука, крахмал. Для наполнения полимеров можно использовать большинство поддающихся измельчению твердых веществ неорганического и органического происхождения. По размеру и форме частиц наполнители могут быть чешуйчатые, сферообразные, пластинчатые и др.

Пластмассы с порошковыми наполнителями характеризуются изотропностью, невысокими прочностью и ударной вязкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами. На основе формальдегидных смол с органическими наполнителями изготавливают несилловые конструкционные и электроизоляционные детали: рукоятки, детали и корпуса приборов. В случае применения в качестве связующего кремнийорганических полимеров и наполнителей (кварцевого порошка или асбеста), теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, станочных приспособлений, литейных моделей и пр.

Пластмассы с волокнистыми наполнителями.

В зависимости от природы наполнителя различают: волокниты, наполнителем для которых служит целлюлозное, как правило, хлопковое волокно; асбоволокниты (наполнитель – асбестовое волокно); стекловолокниты (наполнитель – стекловолокно); органоволокниты (наполнитель – синтетическое волокно); карбоволокниты (наполнитель – углеродное волокно). В качестве связующего для волокнитов применяют чаще всего фенолоформальдегидные, анилино-фенолоформальдегидные и эпоксидные смолы, кремнийорганические полимеры.

Карбоволокниты применяются для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Карбоволокниты (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической стойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения. В качестве связующих используют термореактивные полимеры: эпоксидные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды и др. Углепластики обладают хорошими механическими свойствами, химической стойкостью, более высокой, чем у стеклопластиков, теплопроводностью. Применяются углепластики для изготовления конструктивных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря.

Слоистые пластмассы.

Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу и т. д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств. В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоткани и пр.

Гетинакс – пластик на основе модифицированных фенольных смол и различных сортов бумаги. Рабочая температура – до 140 °С. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс стоек к воздействию химикатов, пищевых продуктов, может иметь любой цвет и рисунок. Он применяется для внутренней облицовки салонов самолетов, лифтов, железнодорожных вагонов и т. д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей. Для печатных радиотехнических изделий применяют гетинакс фольгированный.

Текстолит – слоистый пластик на основе термореактивных смол и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные и электротехнические. Конструкционный текстолит используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах не выше 90 °С, в турбинах, насосах. Из текстолита изготавливают шестерни распределительных валов, крыльчатки водяных насосов, шайбы уплотнительные и изолирующие, кнопки клапанов топливного насоса, изолирующие прокладки, а также некоторые детали антифрикционного назначения. Из текстолит-крошки изготавливают детали с хорошими механическими и антифрикционными свойствами (сальники, ролики, шестерни, втулки, вкладыши подшипников и др.).

В асботекстолитах и асбогетинаксах в качестве наполнителей содержится соответственно асботкань или асбобумага. Применяют асботекстолиты для изготовления тормозных колодок, тормозных накладок, в качестве теплоизоляционного материала. Их используют в ракетной технике для тепловой защиты некоторых частей ракет; изготавливают лопадки ротационных насосов, панели для монтажа электрощитков, коллекторы малогабаритных электрических машин.

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих. На фенольных смолах они более теплостойки, чем текстолиты, но хуже по вибростойкости. На кремнийорганических смолах имеют более высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью. Эпоксидные смолы обеспечивают стеклотекстолитам наиболее высокие механические свойства и позволяют изготавливать из них крупногабаритные детали. Стеклопластики являются конструкционными материалами для силовых изделий деталей летательных аппаратов, кузовов и кабин автомобилей, автоцистерн, корпусов лодок, вагонов, судов, контейнеров, корпусов машин, кожухов, защитных ограждений. По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2–3 раза превосходят их.

Углетекстолит. В качестве наполнителя используется углеткань; в качестве связующего – различные терморреактивные смолы.

По многим характеристикам углепластики существенно превосходят традиционные стали, алюминиевые и титановые сплавы благодаря повышенным удельной прочности и жесткости, высокой усталости и длительной прочности, возможности регулирования анизотропии свойств, широким комплексом тепло- и электрофизических характеристик. Углепластики используют для изготовления кузовов легковых и кабин грузовых автомобилей, дверей, бамперов, цистерн для перевозки топлива, однолистных рессор и рычагов подвески, ободьев колес, труб карданных передач, корпусов двигателей, деталей шатунно-поршневой группы (шатун, поршень, поршневых колец, клапанов и т. д.).

В судостроении углепластик применяют для изготовления корпусов морских и речных судов, корпусов малых тральщиков, изготовления глубоководных аппаратов, в панелях, перегородках, палубных надстройках, для гребных винтов.

Задание к работе

1 Изучить основные виды и область применения пластмасс на основе терморреактивных смол.

2 Изучить основные виды и область применения наполнителей композиционных пластмасс на основе терморреактивных смол, определить область их применения.

Контрольные вопросы

Дать характеристику композиционным материалам на основе терморреактивных смол, указать их назначение и области применения.

Список литературы

- 1 **Материаловедение: учебное пособие / И. М. Жарский [и др.]. – Минск: Высшая школа, 2015. – 557 с.**
- 2 **Лахтин, Ю. М.** **Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 6-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2011. – 528 с.**
- 3 **Сироткин, О. С.** **Основы современного материаловедения: учебник / О. С. Сироткин. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.**