

ГБПОУ «Пермский нефтяной колледж»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для обучающихся по выполнению практических работ
по дисциплине

ОП.06 Материаловедение

специальности

**15.02.14 Оснащение средствами автоматизации
технологических процессов и производств (по отраслям)**

Рассмотрено на заседании
Предметно-цикловой комиссии
Протокол
№ 01 от 02 сентября 2024 г.

Автор(ы):
преподаватель ГБПОУ «ПНК»
Полякова Генриетта Геннадьевна

2024

Перечень практических работ

№ п/п	Содержание практических работ	Количество часов
1.	Практическая работа №1 Построение диаграммы состояния для двухкомпонентного сплава Pb-Sb.	2
2.	Практическая работа №2 Определение твердости металлов по способу Бринелля.	2
3.	Практическая работа 3 Анализ диаграммы фазового равновесия сплавов системы железо — цементит. Построение кривых охлаждения	2
4.	Практическая работа № 4 Полупроводниковые материалы. «Расшифровка марок монтажных проводов».	2
	Всего	8

Практическая работа №1

Построение диаграммы состояния для двухкомпонентного сплава Pb-Sb.

Раздел 1 Физико-химические закономерности формирования структуры материалов.

Тема 1.3: Диаграммы состояния металлов и сплавов

Количество часов: 2

Цели: формирование умений исследовать структуру и свойства двухкомпонентных сплавов.

Задачи: Изучение состава, структуры и свойств современных металлических материалов.

Теоретическая часть:

Общие сведения о диаграммах состояния. Диаграммы состояния представляют собой графическое изображение фазового состояния сплавов данной системы в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Их строят для равновесного состояния, которое соответствует минимальному значению свободной энергии системы. Такое состояние достигается при малых скоростях охлаждения или нагрева.

Диаграммы состояния играют важную роль в теории и практике металловедения. С их помощью можно исследовать фазовые и структурные превращения сплавов, анализ диаграмм дает возможность предвидеть изменение свойств сплавов и назначить оптимальные режимы термической обработки.

Правило фаз. Состояние сплава зависит от внешних условий (температуры, давления) и характеризуется количеством образовавшихся фаз и их химическим составом. Возможность изменения внешних условий (температуры, давления) без изменения числа фаз, находящихся в равновесии, называется вариантно́стью, или числом степеней свободы системы. Правило фаз определяет взаимосвязь между числом степеней свободы, компонентов и фаз, находящихся в равновесии:

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

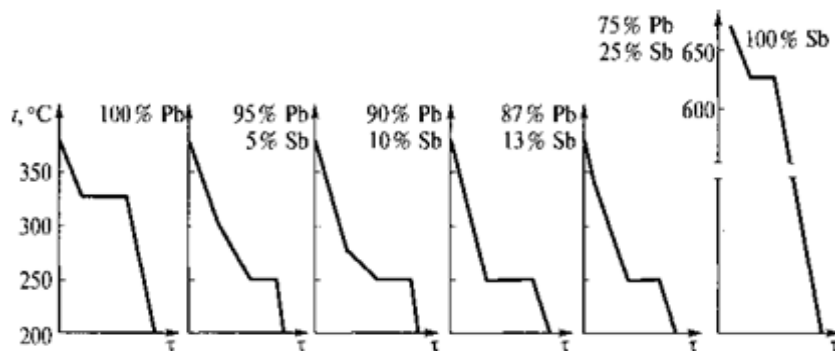
где C — число степеней свободы; K — число компонентов; 2 — число внешних факторов (температура, давление); Φ — число фаз, находящихся в равновесии.

Диаграмма состояния сплавов типа смесь. Приведем построение этой диаграммы на примере системы свинец — сурьма (Pb — Sb). Кривые охлаждения компонентов и

сплавов представлены на рис. 2. Критические точки для чистых металлов и сплавов приведены в табл. 2.

Линия диаграммы, выше которой существует только жидкая фаза (Ж), называется линией ликвидус. Линия диаграммы, ниже которой существует только твердая фаза, называется линией солидус.

Чистые металлы свинец и сурьма кристаллизуются при постоянной температуре. Это соответствует правилу фаз. Действительно, число компонентов K равно единице (чистый металл), количество фаз Φ при кристаллизации две — жидкая и твердая, при этом число степеней свободы C равно нулю: $C=K-\Phi+1 = 1- 2+1 = 0$. Это означает, что кристаллизация должна проходить при постоянной температуре.



Кривые охлаждения сплавов системы Pb—Sb

Таблица 2 Критические точки сплавов системы Pb — Sb

Химический состав, мас. %		Температура кристаллизации, °С (критические точки)	
Pb	Sb	Начало кристаллизации	Конец кристаллизации
100	0	327	327
95	5	300	246
90	10	260	246
87	13	246	246
75	25	340	246
0	100	630	630

Кристаллизация всех сплавов, кроме одного (87 % Pb, 13 % Sb) протекает в интервале температур. При этом $K = 2$ (Pb и Sb), $\Phi = 2$ (жидкая и твердая фазы), т.е. $C = 1$ — возможно изменение температуры без изменения фазового состава.

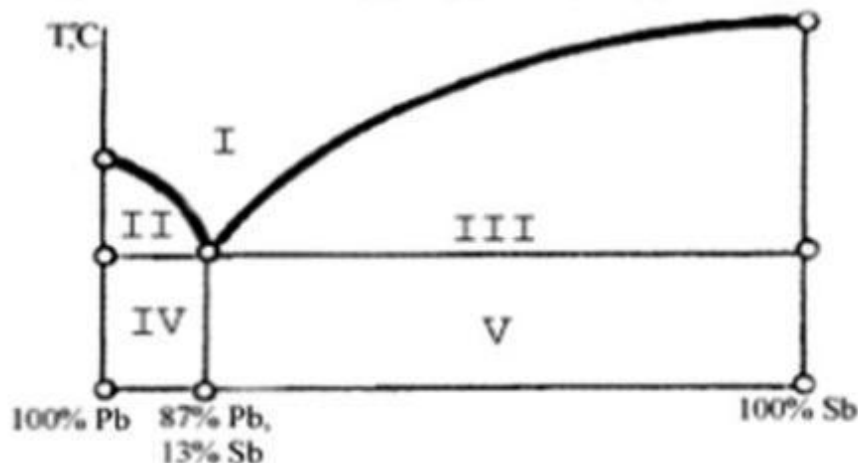
Особое положение занимает упомянутый выше сплав (87 % Pb, 13 % Sb), который так же, как чистые металлы, кристаллизуется при постоянной температуре, т.е. $C = 0$. При $K = 2$ это возможно только в том случае, если $\Phi = 3$, тогда $C = 2-3+1 = 0$. Это означает, что при кристаллизации этого сплава одновременно существуют три фазы (жидкость, свинец и сурьма), т. е. из жидкости одновременно выделяются оба компонента, образуя смесь.

Этот наиболее легкоплавкий сплав системы называется эвтектическим. Структура, полученная при кристаллизации этого сплава, называется эвтектикой (Э). Кристаллизацию эвтектического сплава можно описать следующим образом: Ж Э [Pb + Sb]. Следовательно,

эвтектика состоит из двух фаз: свинца и сурьмы.

Сплавы, расположенные слева от эвтектического, называются доэвтектическими, а расположенные справа — заэвтектическими. Первичная кристаллизация таких сплавов начинается с выделения избыточной фазы. Избыточной называется та фаза, содержание которой в сплаве больше, чем в сплаве эвтектического состава. Таким образом, у доэвтектических сплавов избыточной фазой будет свинец (его содержание в них больше 87 %), а у заэвтектических — сурьма (ее содержание в этих сплавах превышает 13 %).

Задание 1: Вычертить диаграмму состояния сплава свинец-сурьма (Pb - Sb), используя таблицу 2.



1. Указать линию ликвидуса (liquidus - жидкий).
2. Указать линию солидуса (solidus - твердый).
3. Указать доэвтектические и заэвтектические сплавы на диаграмме состояния сплава свинец - сурьма.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно прочитать теоретическую часть;

Задание:

1. Вычертить диаграмму состояния сплава свинец-сурьма (Pb - Sb), используя таблицу 2.
2. Ответить на контрольные вопросы;
3. Сделать вывод. Оформить отчет

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание. Диаграмма состояния Свинец-сурьма.

Контрольные вопросы

1. Дать определение эвтектики.
2. Дать определение сплава механическая смесь.
3. В каких координатах строится диаграмма состояния сплавов?
4. 3.Какими свойствами обладает сплав химическое соединение?
5. Перечислить виды сплавов.
6. Как называются элементы, образующие сплав?
7. Назовите свойства сплава химическое соединение.
8. Какой вид сплава не повторяет свойства компонентов, но способность к пластической деформации сохраняется

Критерии оценки за практическую работу:

Оценка "**отлично**" ставится, если обучающийся выполнил работу в полном объёме с соблюдением необходимой последовательности, работал полностью самостоятельно, без замечаний, работа оформлена аккуратно без ошибок и недочетов;

Оценка "**хорошо**" ставится, если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней 2–3 несущественных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя, работа оформлена аккуратно.

Оценка "**удовлетворительно**" ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил существенную ошибку, допустил неточности и небрежность в оформлении результатов работы.

Оценка "**неудовлетворительно**" ставится, если обучающийся допустил две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые не может исправить даже по требованию преподавателя, или работа не выполнена, обнаружено плохое знание теоретического материала и отсутствие необходимых умений.

Примечание.

Оценки с анализом доводятся до сведения обучающихся, как правило, на последующем уроке, предусматривается работа над ошибками, устранение пробелов.

Учебно-методическое и информационное обеспечение:

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М.: Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил.
2. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М. Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил. <https://znanium.ru/read?id=449111>

Дополнительные источники:

1. Материаловедение: Учеб. для сред. проф. образования/ А.М. Адашкин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов; под ред. Ю.М. Соломенцева.- М. Высш. Шк., 2005.- 426 с.: ил.
2. Филикова В.А. Электрические и конструкционные материалы. –М.: Академия, 2014

Интернет-ресурсы:

1. Библиотека TLP <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php>
2. Журнал «Материаловедение».: http://www.nait.ru/journals/index.php?pJournal_id=2.
3. Материаловедение: образовательный ресурс.: <http://www.supermetalloved/narod.ru>.

Практическая работа №2

Определение твердости металлов по способу Бринелля.

Раздел 1 Физико-химические закономерности формирования структуры материалов.

Тема 1.3: Диаграммы состояния металлов и сплавов

Цель практической работы: Изучение методов определения твердости металлов и оборудования, в зависимости от применяемого метода, приобретение навыков определения твердости.

Количество часов: 2

Цель практической работы: Изучение методов определения твердости металлов и оборудования, в зависимости от применяемого метода, приобретение навыков определения твердости.

Задачи: Освоение основных связей между строением материалов и их свойствами (твёрдостью, прочностью, износостойкостью, пластичностью и др.).

Теоретическая часть:

Понятие о металлах и сплавах

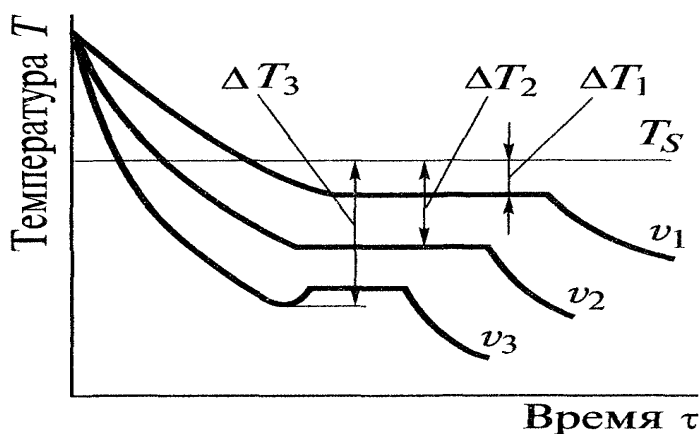
Из всех известных в настоящее время элементов более половины являются металлами. Металлы — непрозрачные вещества, обладающие специфическим металлическим блеском, пластичностью, высокой тепло- и электропроводностью. По последнему свойству металлы легко отличить от других веществ (дерево, стекло и т.д.).

Все металлы и образованные из них сплавы делят на черные, к которым относят железо и сплавы на его основе (на их долю приходится около 95 % производимой в мире металлопродукции), и цветные. В технике принята условная классификация, по которой цветные металлы делят на группы: легкие (Al, Mg), тяжелые (Cu, Pb), тугоплавкие (W, Mo), благородные (Au, Pt), рассеянные (Gd, In), редкоземельные (Sc, Y), радиоактивные (Ra, U).

Кристаллизация металлов

Переход металла из жидкого состояния в твердое называется первичной кристаллизацией. Она протекает вследствие перехода системы из неустойчивого термодинамического состояния в устойчивое, т. е. из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией.

На рисунке 1 показаны кривые охлаждения, характеризующие кристаллизацию чистых металлов при охлаждении с разной скоростью (v_1, v_2, v_3). Кристаллизация происходит при постоянной температуре, поэтому на кривой охлаждения появляется горизонтальная площадка (остановка в падении температуры), образование которой объясняется выделением скрытой теплоты кристаллизации. Во время плавления происходит поглощение теплоты, которая расходуется на повышение энергии атомов, т.е. на разрушение кристаллической решетки металла. Эта теплота называется скрытой. В процессе кристаллизации происходит обратное явление, а именно выделение энергии в виде скрытой теплоты кристаллизации, которая задерживает падение температуры.



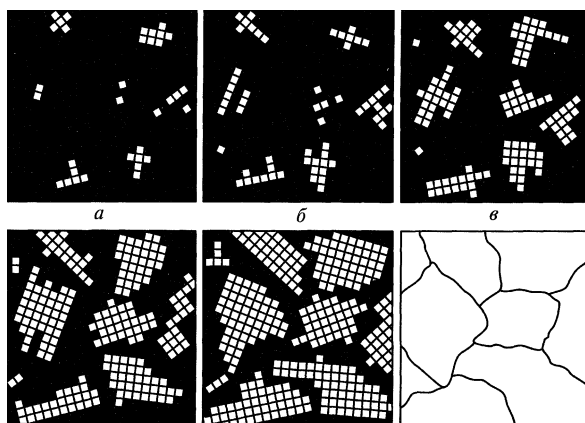


Рисунок 2 Схема процесса кристаллизации: *а — е* — этапы кристаллизации

Схематически процесс кристаллизации показан на рисунке 2.

В начале во многих участках жидкого сплава образуются центры кристаллизации (зародыши кристаллов). Пока их окружает жидкость, кристаллы растут свободно и могут иметь правильную геометрическую форму. Однако при столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается, так как на участках контактов (границах) их рост прекращается. Кристалл растет лишь в том направлении, где он соприкасается с жидкостью. В результате после окончательного затвердевания кристаллы имеют несимметричную (неправильную) форму. Их называют зернами или кристаллитами.

Скорость процесса кристаллизации определяется двумя величинами: скоростью зарождения центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов.

Под скоростью зарождения центров кристаллизации понимают число зародышей, возникающих за единицу времени в единице объема. Под скоростью роста кристаллов понимают скорость увеличения линейных размеров кристалла за единицу времени.

Физические свойства металлов и сплавов.

Данная группа свойства связаны с атомной структурой и плотностью материала и их измерение не вызывает остаточной деформации тела.

Цвет – по этому признаку можно судить о некоторых других свойствах. Например, большинство металлов при нагревании меняют цвет. Аналогичная ситуация наблюдается и при окислении.

Теплопроводность – способность материала проводить или передавать тепло.

Электропроводность – аналогично предыдущему свойству, однако вместо тепла выступает электричество.

Магнитная восприимчивость – проводит ли материал магнитное поле, когда он намагничен.

Температура плавления – показатель температуры, при достижении которой вещество переходит в жидкое состояние из твердого. У чистых металлов она является постоянной, а для сплавов – это интервал температур.

Плотность – это количество вещества, которое содержится в одной единице объема.

Удельная теплоемкость – представляет собой количество тепла, которое необходимо, чтобы поднять температуру 1г вещества на 1°C.

Химические свойства.

К данному виду относятся те свойства, которые определяют их отношение к химическим воздействиям таких сред, как вода, воздух, кислоты, щелочи и другие.

Растворимость – способность материала растворяться в каком-либо растворителе (как правило, сильные кислоты и едкие щелочи).

Окисляемость – способность металла образовывать оксиды (соединяться с кислородом).

Коррозийная стойкость – насколько материалы способны сопротивляться разрушению во время химического воздействия окружающей среды.

Механические свойства.

При измерении механических свойств, тело, как правило, подвергается разрушению или необратимой деформации.

Прочность – материал способен сопротивляться разрушению, когда на него воздействуют внешние силы.

Упругость – материал способен принимать первоначальную форму, когда действие внешней нагрузки закончилось. Новые размеры и форма сохраняются, материал не разрушается.

Вязкость – материал способен оказывать сопротивление, когда на него воздействуют резко возрастающие нагрузки.

Твердость – материал не позволяет проникать в себя другому материалу, который является более твердым.

Износостойкость – материал способен сохранять свою поверхность неизменной, если на него воздействовать силой трения.

Хрупкость – материал способен разрушаться под воздействием внешней силы (пластическая деформация отсутствует).

Технологические свойства металлов и сплавов

Технологические свойства характеризуют поведение материалов в процессе изготовления деталей. Под технологичностью следует понимать легкость проведения технологических операций. Это означает, что уровень технологических свойств определяет возможность применения той или иной технологии. Низкая технологичность материала может являться причиной брака или вызывает снижение производительности обработки.

Данный вид свойств определяет, насколько к металлу или сплаву подходят тот или иной вид обработки.

Обработка резанием – металл или сплав подвержен обработке режущим инструментом при механической обработке.

Ковкость – материал способен принимать другую форму, если его обрабатывать давлением. Разрушение материала при этом отсутствуют.

Свариваемость – металл подходит для сварки, образуя неразъемные соединения без трещин и других пороков.

Жидкотекучесть – характеризует способность материала заполнять литейную форму. Расплавленные металлы спокойно принимают именно ту форму, в которую их заливают.

Усадка – процесс, противоположный тепловому расширению. Представляет собой уменьшение объема материала при его охлаждении.

Технологичность в процессе литья оценивается жидкотекучестью материала и усадкой.

Ликвация – материал из жидкого состояния при понижении температуры переходит в твердое состояние и в результате распадается на отдельные соединения, у которых точки плавления различны.

Основные технологические процессы, применяемые при изготовлении деталей: литье, обработка давлением, обработка резанием, сварка.

Обработываемость давлением (прокат,ковка и др.) зависит от пластичности металла. Напомним, что только для металлов возможна обработка давлением. Это связано с тем, что пластичность определяется металлическим, гибким и ненаправленным типом связи.

Чугуны из-за высокой хрупкости и весьма малой пластичности не могут быть обработаны методами пластической деформации.

Определение твердости.

Твердость характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям. Наиболее распространенные методы определения твердости связаны с введением в испытуемый материал специального тела, называемого индентором, с таким усилием, чтобы произошла пластическая деформация. В материале при этом остается отпечаток индентора, по которому судят о величине твердости.

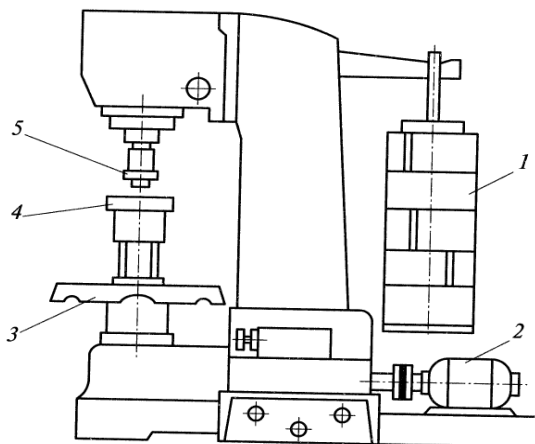


Рисунок 3

Метод Бринелля. В качестве индентора используется стальной закаленный шарик, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе (рис. 3). В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки (рис. 4). Диаметр отпечатка измеряют в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью микроскопа Бринелля — лупы со шкалой (рис. ЗЛО). Число твердости HB , кгс/мм², — это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле

$$HB = 2P/D[D - (D^2 - d^2)^{1/2}],$$

где P — прилагаемая нагрузка; D и d — соответственно диаметр шарика и отпечатка.

На практике пользуются таблицей, в которой указаны значения твердости в зависимости от диаметра отпечатка.

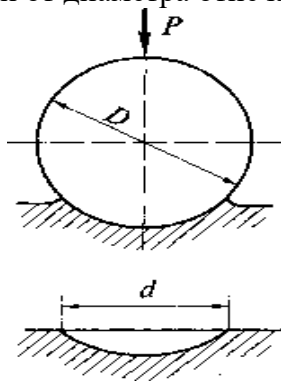


Рис. 4. Схема определения твердости по Бринеллю: P — нагрузка

Метод Роквелла. Принципиальное отличие этого метода от рассмотренного ранее заключается в том, что твердость определяется не площадью поверхности отпечатка индентора, а глубиной его проникновения в исследуемый образец.

В качестве индентора используют алмазный конус при испытаниях твердых материалов и стальной закаленный шарик при испытаниях мягких материалов.

Метод Шора. При измерении твердости по Шору используется принцип, отличный от рассмотренных ранее. Твердость оценивают по величине упругой, а не пластической деформации. На поверхность объекта с высоты H падает специальный боек. При ударе

часть энергии расходуется на пластическую деформацию исследуемого материала. Оставшаяся упругая деформация возвращается бойку в виде упругого отскока на величину H_0 (рис. 5). При этом сам боек не деформируется, так как оснащен алмазным наконечником. Высота отскока бойка, определяемая величиной упругой деформации, тем больше, чем выше твердость материала.

Твердость определяется по высоте отскока бойка Шц (см. рис. 5). Шкала твердости на приборе Шора разделена на 130 единиц. Она рассчитана таким образом, чтобы твердость закаленной эвтектоидной стали оказалась равной 100 единицам. Эти приборы часто используют для определения твердости непосредственно на деталях, особенно крупногабаритных.

В некоторых случаях, когда применение перечисленных методов невозможно, твердость металла определяют с помощью тарированных напильников из материала с известной максимальной твердостью, пока еще возможно снятие стружки (при большей твердости напильник скользит по поверхности). Этот метод менее точен, но прост и легко применим в цеховых условиях.

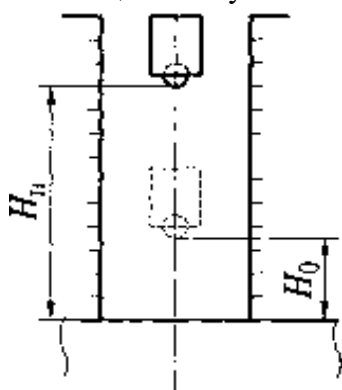
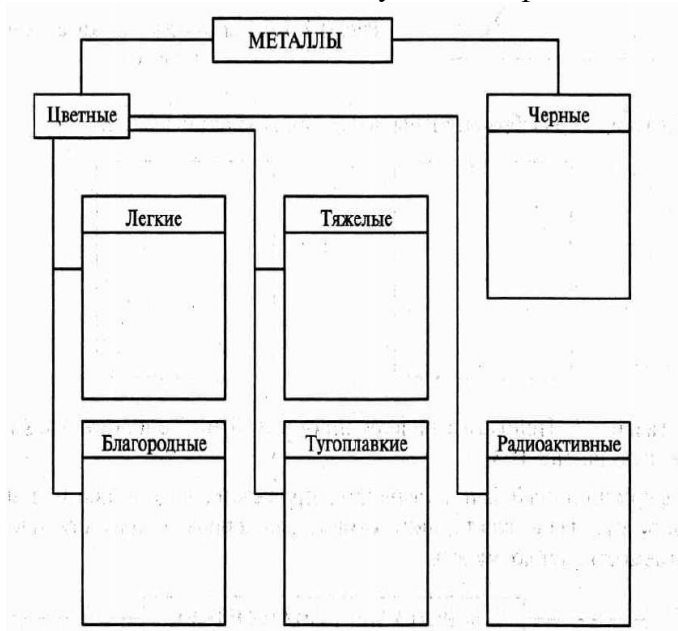


Рис. 5. Измерение твердости по Шору

Задание 1. Заполните схему «Классификация металлов»:



Задание 2. Изобразите начальный и последний этапы кристаллизации.



Задание 3. Используя информационный банк, заполните схему, представленную на рис.2.



Информационный банк: твердость, прочность, пластичность, теплопроводность, ударная вязкость, цвет, химическая коррозия, ковкость, плотность, свариваемость, теплоемкость.

Задание 4. Дать определение твердости. Описать сущность способа испытания металлов на твердость по методу Бринелля. Вычислите твердость по Бринеллю, если условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 1000 кгс.

Вариант 1. Образец из серого чугуна толщиной 10 мм, при диаметре отпечатка 3,1 мм; из латуни толщиной 10 мм при диаметре отпечатка 4,5 мм.

Вариант 2. Образец из стали толщиной 8 мм, при диаметре отпечатка 2,8 мм; из меди толщиной 12 мм при диаметре отпечатка 5,1 мм.

Вариант 3. Образец из серого чугуна толщиной 15 мм, при диаметре отпечатка 3,3 мм; из бронзы толщиной 10 мм при диаметре отпечатка 4,5 мм.

Вариант 4. Образец из стали толщиной 12 мм, при диаметре отпечатка 3,1 мм; из латуни толщиной 14 мм при диаметре отпечатка 4,3 мм.

Вариант 5. Образец из серого чугуна толщиной 10 мм, при диаметре отпечатка 3,6 мм; из алюминиевого сплава толщиной 10 мм при диаметре отпечатка 5.6 мм.

Пример решения задания 4.

1. Прочитав содержание задачи, выделяем исходные данные.

Исходными данными будут: $d = 3$ мм; $D = 10$ мм;

2. Определяем, что необходимо найти. Необходимо найти: твердость НВ.

3. Выделяем ключевые слова: твердость.

4. Дадим определения выделенным словам. Твердостью называют свойства материала оказывать сопротивление деформации в поверхностном слое при местных контактных воздействиях.

5. Задача решается арифметическим методом. Твердость по Бринеллю выражается отношением приложенной нагрузки P к площади сферической поверхности отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхность образца:

$$HB = P / A = 2P / D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$
, где
 P – прилагаемая нагрузка;
 D и d соответственно диаметр шарика и диаметр отпечатка
6. Вычислим твердость:

$$HB = 2 \cdot 900 / 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 3^2}) = 391$$
.
7. Запишем полученный ответ: твердость – 391 HB.

Задание 5.

Ответьте на контрольные вопросы:

1. Почему определение твердости получило наибольшее распространение в промышленности?
2. Перечислите методы испытаний металлов и сплавов на твердость. На основании чего применяется тот или иной метод?
3. Пример решения задания 4. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 3 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм; нагрузка 900 кгс.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно прочитайте теоретическую часть;
2. Выполните:

Задание 1. Заполните схему «Классификация металлов»

Задание 2. Изобразите начальный и последний этапы кристаллизации.

Задание 3. Используя информационный банк, заполните схему, представленную на рис.2.

Задание 4. Дать определение твердости. Описать сущность способа испытания металлов на твердость по методу Бринелля. Вычислите твердость по Бринеллю, если условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 1000 кгс.

3. Сделать вывод. Оформить отчет.

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.

Критерии оценки за практическую работу:

Оценка "**отлично**" ставится, если обучающийся выполнил работу в полном объёме с соблюдением необходимой последовательности, работал полностью самостоятельно, без замечаний, работа оформлена аккуратно без ошибок и недочетов;

Оценка "**хорошо**" ставится, если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней 2–3 несущественных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя, работа оформлена аккуратно.

Оценка "**удовлетворительно**" ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил существенную ошибку, допустил неточности и небрежность в оформлении результатов работы.

Оценка "**неудовлетворительно**" ставится, если обучающийся допустил две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые не может исправить даже по требованию преподавателя, или работа не выполнена, обнаружено плохое знание теоретического материала и отсутствие необходимых умений.

Примечание.

Оценки с анализом доводятся до сведения обучающихся, как правило, на последующем уроке, предусматривается работа над ошибками, устранение пробелов.

Учебно-методическое и информационное обеспечение:

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М.: Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил.

2. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М. Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил. <https://znanium.ru/read?id=449111>

Дополнительные источники:

1. Материаловедение: Учеб. для сред. проф. образования/ А.М. Адашкин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов; под ред. Ю.М. Соломенцева.- М. Высш. Шк., 2005.- 426 с.: ил.

2. Филикова В.А. Электрические и конструкционные материалы. –М.: Академия, 2014

Интернет-ресурсы:

1. Библиотека TLP <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php>

2. Журнал «Материаловедение».: http://www.nait.ru/journals/index.php?pJournal_id=2.

3. Материаловедение: образовательный ресурс.: <http://www.supermetallovednarod.ru>.

Практическая работа 3

Анализ диаграммы фазового равновесия сплавов системы железо — цементит.

Построение кривых охлаждения

Раздел 2. Материалы, применяемые в машино- и приборостроении

Тема 2.1. Конструкционные материалы

Количество часов - 2

Цель практической работы: Научиться строить кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с определенным содержанием углерода по диаграмме состояния сплавов; пояснять структурные превращения для заданного сплава в критических точках кривой охлаждения.

Задача: способствовать формированию умений систематизировать и обобщать информацию, использовать информационные технологии для решения задач

материаловедения и технологии материалов, исследовать взаимосвязь между составом, структурой и свойствами материалов, а также управлять их основными характеристиками.

Теоретическая часть.

Для определения температурных интервалов, видов термической обработки, температуры плавления и заливки сплава в литейные формы пользуются специальными диаграммами состояния сплавов.

Диаграмма состояния сплавов - графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов.

Для построения диаграмм состояния сплавов используют множество кривых охлаждения сплавов с различными концентрациями компонентов в зависимости от температуры и времени охлаждения. Однотипные критические точки (например, соответствующие температурам плавления сплавов) кривых охлаждения соединяют линией. Замкнутая область на диаграмме состояния, ограниченная линиями, имеет однотипную структуру.

Термины и определения

Аустенит — твердый раствор внедрения углерода и др. примесей в γ -железе. (Предельная растворимость углерода в γ -железе — 2,14%).

Ледебурит — эвтектический сплав, представляющий собой механическую смесь кристаллов аустенита и цементита.

Перлит — механическая смесь чередующихся пластинок феррита и цементита, образующихся при распаде аустенита во всех сплавах системы с концентрацией углерода более 0,02 % при $t = 727^\circ\text{C}$.

Сталь — железоуглеродистый сплав, содержащий от 0,02% до 2,14 % углерода.

Стали доэвтектоидные — содержание углерода не превышает 0,8 %.

Стали заэвтектоидные — содержание углерода составляет 0,8 - 2,14%.

Стали эвтектоидные — содержание углерода 0,8 %.

Феррит — твердый раствор внедрения углерода и др. примесей в α -железе. Различают низкотемпературный α -феррит с растворимостью углерода до 0,02% и высокотемпературный δ -феррит с предельной растворимостью углерода 0,1%.

Цементит — химическое соединение железа с углеродом — карбид железа Fe_3C , с концентрацией углерода 6,67%.

Чугун — железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14% углерода.

Чугуны белые — чугуны, кристаллизующиеся подобно углеродистым сталям по метастабильной диаграмме состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ / углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита; имеет белый блестящий излом /.

Чугуны доэвтектические — содержание углерода составляет 2,14-4,3%.

Чугуны заэвтектические — содержание углерода $>4,3\%$.

Чугуны эвтектические — содержание углерода равно 4,3%.

Железоуглеродистые сплавы — стали и чугуны, находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Основными компонентами сталей и чугунов являются железо и углерод. Наряду с основными компонентами в этих сплавах имеются постоянные технологические примеси, которые оказывают существенное влияние на их свойства и формирование структуры. Фазовый состав и структура промышленных сплавов, полученных при медленном охлаждении до комнатной температуры, хорошо согласуются с диаграммой состояния железо-углерод (Д.К. Чернов, 1868 г.).

Углерод может находиться в равновесии с жидкой фазой и с твердыми растворами на основе железа в виде цементита (метастабильное равновесие) или графита (стабильное равновесие) в зависимости от внешних условий. Это обстоятельство определяет два варианта диаграммы состояния железо-углерод (рис.1). Больше практическое значение имеет метастабильная диаграмма состояния. С помощью этой диаграммы объясняют не

только превращения, происходящие в сталях и белых чугунах. Диаграмма является основой для выбора оптимальных режимов термообработки железоуглеродистых сплавов.

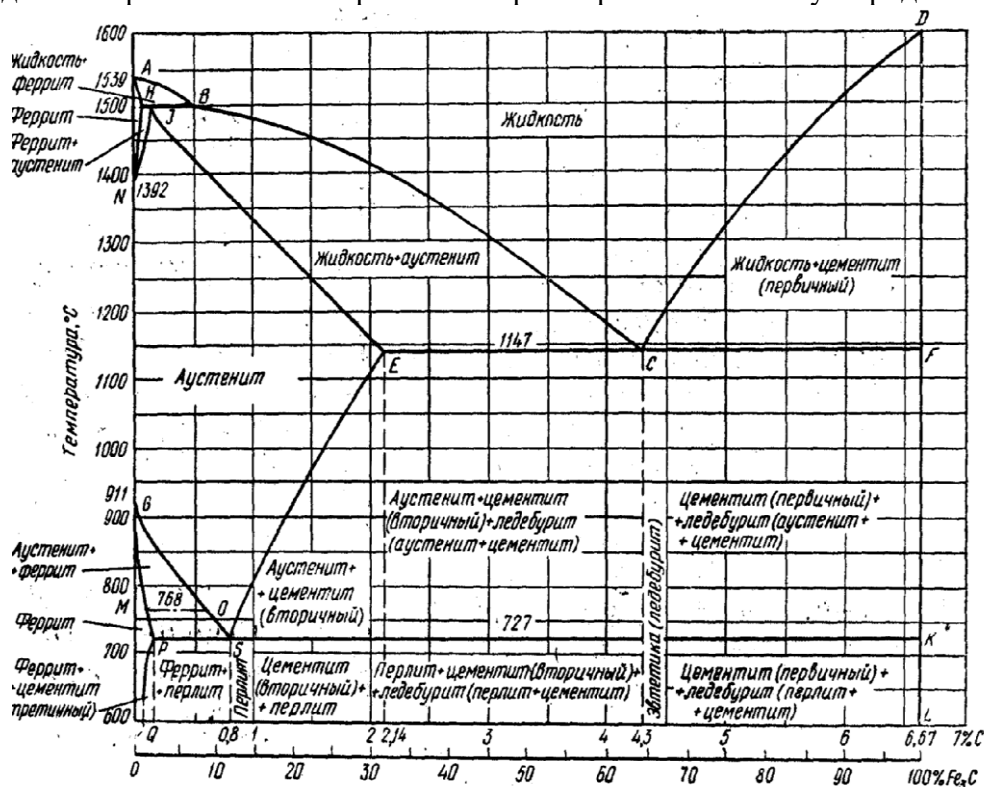


Рис. 1. Диаграмма состояния железо - цементит

Железо - металл сероватого цвета. Атомный номер 26, атомная масса 55,85.

Температура плавления железа 1539°C. Железо имеет две полиморфные модификации α и γ. α - железо существует при температуре ниже 910°C.

Кристаллическая решетка железа — объемно-центрированный куб с периодом решетки 0,286 нм. До температуры 768° С — железо ферромагнитно. Температуру 768°С, соответствующую переходу α-железа из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри.

γ-железо существует в интервале температур 910-1392°С; оно парамагнитно. Кристаллическая решетка γ-железа — гранецентрированная кубическая.

Углерод — неметаллический элемент, атомный номер 6; плотность 2,5 г/см³; температура плавления 3500°С. Углерод растворим в железе в жидком и твердом состояниях, а также может быть в виде химического соединения — цементита, а в высокоуглеродистых сплавах в виде графита.

В системе Fe–Fe₃C различают следующие фазы: жидкий раствор, твердые растворы — феррит и аустенит, а также цементит.

К структурным составляющим в системе Fe–Fe₃C относятся жидкий раствор, феррит, аустенит, ледебурит, перлит, а также цементиты — первичный, вторичный и третичный,

Рассмотрим области диаграммы состояния железо-цементит, которые отвечают равновесным состояниям сплавов системы, и основные фазовые превращения.

Однофазные области диаграммы состояния Fe-Fe₃C:

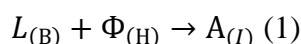
- жидкая фаза L — все сплавы выше линии ликвидус ABCD;
- феррит Ф высокотемпературная область — левее линии АНN; низкотемпературная область — левее линии GPQ;
- аустенит А — ограничена линией NIESG;
- цементит Ц — вертикальная линия DFKL.

В двухфазных областях в равновесии находятся:

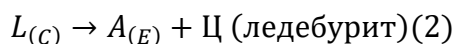
- жидкий раствор и кристаллы феррита (ABH)
- кристаллы феррита и аустенита (HIN и GSP);
- жидкий раствор и кристаллы аустенита (IBCE);
- жидкий раствор и аустенит (CDF);
- кристаллы аустенита и цементита (SECFK);
- кристаллы феррита и цементита (QPSKL),

Горизонтальные линии на диаграмме состояния железо-цементит отвечают трех фазным равновесным состояниям сплавов;

- при $t = 1499^{\circ}\text{C}$ (линия HIB) в сплавах с концентрацией углерода от 0,1 до 0,51 % происходит перитектическое превращение в результате взаимодействия кристаллов феррита с жидким раствором:



- при $t = 1147^{\circ}\text{C}$ (линия ECF) в сплавах с концентрацией углерода от 2,14 до 6,67% происходит эвтектическое превращение:



- при $t = 727^{\circ}\text{C}$ (линия PSK) в сплавах системы с концентрацией углерода более 0,02 % происходит эвтектоидное превращение, заключающееся в распаде аустенита на дисперсную механическую смесь чередующихся пластинок феррита и цементита:

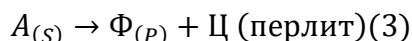


Рис.1. Диаграмма состояния сплавов Fe – Fe₃C

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов (рис.1):

Феррит (Φ) - твердый раствор внедрения углерода в α-железе. Наибольшая растворимость углерода в феррите 0,02 % при 727°C. Феррит имеет незначительную твердость (HB 80 - 100) и прочность, но высокую пластичность (δ=50 %).

Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в γ-железе. Существует только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в γ-железе 2,14 % при температуре 1147°C и 0,8 % при 727°C. Аустенит имеет твердость HB 160 - 200 и пластичность δ=40 - 50 %

Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe₃C). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около 1600°C. Имеет сложную кристаллическую решетку. Самая твердая (HB~800) и хрупкая составляющая железоуглеродистых сплавов.

Перлит - механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. Образуется при перекристаллизации (распаде) аустенита при температуре 727°C. Этот распад называется эвтектоидным, а перлит - эвтектоидом, т.е. подобный эвтектике, но образующийся из твердой фазы. При комнатной температуре перлит имеет твердость HB 160.

Ледебурит - механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3 % углерода. Ледебурит образуется при затвердевании жидкого расплава при температуре 1147°C. Ледебурит имеет твердость HB 600 - 700 и большую хрупкость.

Поскольку при температуре 727°C аустенит превращается в перлит, то при более низких температурах ледебурит представляет собой уже смесь перлита и цементита.

Задание на практическую работу

1. По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов (рис.1) построить кривую охлаждения для сплава с указанным в таблице 1 содержанием углерода.
2. Провести анализ структурных превращений для заданного сплава в критических точках кривой охлаждения.

Таблица 1

Вариант	Содержание углерода в сплаве	Вариант	Содержание углерода в сплаве
1	0,2	16	0,5
2	0,6	17	0,8
3	1	18	1,2
4	1,4	19	1,8
5	2	20	2,5
6	3	21	3,5
7	4	22	4,5
8	5	23	1,2
9	2,6	24	1,5
10	1,6	25	2,4
11	2,8	26	3,2
12	3,4	27	3,6
13	3,8	28	4,3
14	0,7	29	0,9
15	1,1	30	1,3

Пример выполнения работы

По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов построить кривую охлаждения для сплава с содержанием углерода 3 % с последующим анализом структурных превращений.

Для заданного сплава по диаграмме состояния критические точки будут при температурах 1390, 1147 и 727°C

Данный сплав представляет собой заэвтектический чугун.

При температурах выше 1390°C сплав находится в жидком состоянии. При температуре 1390°C в сплаве начинают образовываться твердые частицы первичного цементита.

При температуре 1147°C сплав полностью переходит в твердое состояние. Структура состоит из включений цементита и эвтектики (ледебурита), который представляет собой механическую смесь аустенита и цементита.

При температуре 727°C аустенит перекристаллизуется в перлит, поэтому структура сплава при более низких температурах состоит из включений первичного цементита и ледебурита, представляющего собой механическую смесь перлита и цементита.

Пример выполнения работы, если сплав содержит углерод 3% С:

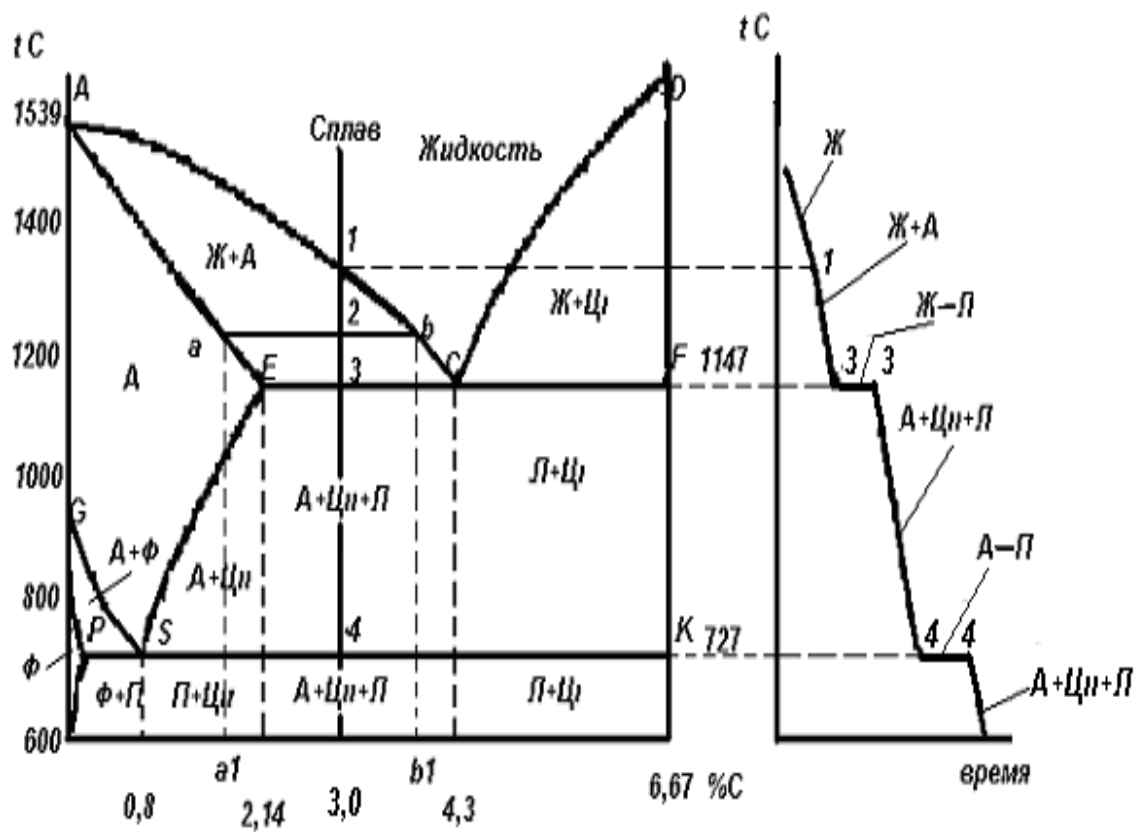


Рисунок 2 Пример выполнения работы



Рисунок 3 Кривая охлаждения сплава с содержанием углерода 3%

Порядок выполнения работы

1. Внимательно прочитать теоретическую часть;
2. Выполните:
 1. По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов построить кривую охлаждения для сплава

2. Для заданного сплава по диаграмме состояния найти критические точки
 3. Дать определение данному сплаву
 4. Построить кривую охлаждения и охарактеризовать, что происходит со сплавом при различных температурах фазовых превращений.
3. Сделать вывод. Оформить отчет.

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Кривая охлаждения.
5. Название данного сплава.
6. Анализ структурных превращений в критических точках кривой охлаждения.
7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующим терминам:
2. - структура;- кривая охлаждения;- критическая точка;- диаграмма состояния сплавов;- солидус;- ликвидус;
3. Какие структурные составляющие могут присутствовать в железоуглеродистых сплавах и что они собой представляют?
4. Как построить диаграмму состояния сплавов?
5. Что можно узнать по диаграмме состояния сплавов?

Критерии оценки за практическую работу:

Оценка "**отлично**" ставится, если обучающийся выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности, работал полностью самостоятельно, без замечаний, работа оформлена аккуратно без ошибок и недочетов;

Оценка "**хорошо**" ставится, если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней 2–3 несущественных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя, работа оформлена аккуратно.

Оценка "**удовлетворительно**" ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил существенную ошибку, допустил неточности и небрежность в оформлении результатов работы.

Оценка "**неудовлетворительно**" ставится, если обучающийся допустил две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые не может исправить даже по требованию преподавателя, или работа не выполнена, обнаружено плохое знание теоретического материала и отсутствие необходимых умений.

Примечание.

Оценки с анализом доводятся до сведения обучающихся, как правило, на последующем уроке, предусматривается работа над ошибками, устранение пробелов.

Учебно-методическое и информационное обеспечение:

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М.: Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил.
2. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М. Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил. <https://znanium.ru/read?id=449111>

Дополнительные источники:

1. Материаловедение: Учеб. для сред. проф. образования/ А.М. Адаскин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов; под ред. Ю.М. Соломенцева.- М. Высш. Шк., 2005.- 426 с.: ил.
2. Филикова В.А. Электрические и конструкционные материалы. –М.: Академия, 2014

Интернет-ресурсы:

1. Библиотека TLP <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php>
2. Журнал «Материаловедение».: http://www.nait.ru/journals/index.php?pJournal_id=2.
3. Материаловедение: образовательный ресурс.: <http://www.supermetalloved/narod.ru>.

Практическая работа № 4

Полупроводниковые материалы. «Расшифровка марок монтажных проводов».

Раздел 3. Электротехнические материалы

Тема 3.2 Понятие о полупроводниках

Количество часов - 2

Цель работы: иметь представление о характеристиках, области применения полупроводниковых материалов. Цель: научиться применять полученные знания о полупроводниковых материалах при расшифровке марок монтажных проводов

Задача: Изучение области применения различных современных материалов для применения на производстве

Теоретическая часть Полупроводниковые материалы.

К полупроводникам относят большую группу материалов с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых находится между значениями сопротивлений проводников и диэлектриков. Управляемость электропроводностью полупроводников посредством температуры, света, электрического и магнитного полей, механических усилий положена в основу принципа действия различных полупроводниковых приборов: терморезисторов, фотодиодов, тензодатчиков и др. Наличие у полупроводников двух типов электропроводности – электронной *n* и дырочной *p* позволяет получить приборы с *p – n* переходом. Полупроводниковые приборы могут быть использованы для преобразования различных видов энергии в электрическую (солнечные батареи, термоэлектрические генераторы). С помощью полупроводниковых приборов можно получить охлаждение на несколько десятков градусов. Полупроводники применяются для рекомбинационного свечения при низком напряжении (светодиоды), в качестве высокотемпературных нагревательных приборов (силитовые стержни), для измерения магнитного поля (датчики Холла) и в других устройствах. Электропроводность полупроводников Собственные полупроводники. К собственным полупроводникам относятся полупроводники не содержащие примесей: бор, кремний, германий, селен, сера, мышьяк, фосфор и др. Атомы имеют определенные энергетические уровни (состояния). Часть этих уровней в нормальном невозбужденном состоянии заполнены электронами. Электроны вращаются на определенных орбитах, которые соответствуют определенным значениям энергии, т.е. находятся на определенных энергетических уровнях. При внешнем энергетическом воздействии, электроны могут переходить со своих уровней на свободные уровни. Из определенных уровней образуются зоны. Уровни, которые в нормальном невозбужденном состоянии заполнены электронами, образуют валентную зону. Свободные от электронов уровни образуют зону проводимости. Энергетическую щель между валентной зоной и зоной проводимости называют запрещенной зоной. У собственных полупроводников электроны в зону проводимости могут переходить только из валентной зоны. При переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости, на его

месте остается положительно заряженная незаполненная связь с зарядом равным заряду электрона, которую называют дыркой проводимости или просто дыркой. Дырку может заполнить электрон соседнего атома, что эквивалентно перемещению дырки. Под действием поля перемещение носит направленный характер, т.е. дырки в валентной зоне наряду с электронами в зоне проводимости будут участвовать в проводимости полупроводника. Примесные полупроводники для большинства полупроводниковых приборов используются примесные полупроводники, где основным поставщиком свободных зарядов в рабочем диапазоне температур, являются примеси. Примесами в полупроводниках являются чужеродные атомы. Роль примесей могут играть дефекты кристаллической решетки: пустые узлы, дислокации. Донорные примеси образуют дополнительные энергетические уровни, заполненные электронами при отсутствии внешнего воздействия, вблизи зоны проводимости Электропроводность таких полупроводников будет носить преимущественно электронный характер, такой полупроводник будет называться полупроводником n – типа, а материалы примесей составляющие электроны в зону проводимости - донорами. Акцепторные примеси образуют дополнительные, незаполненные электронами, уровни, располагающиеся в запрещенной зоне основного полупроводника вблизи «потолка» валентной зоны. Полупроводник будет иметь концентрацию дырок в валентной зоне большую, чем концентрация электронов, перешедших из валентной зоны в зону проводимости. Такие полупроводники относятся к р – типу, а примеси, захватывающие электроны из валентной зоны полупроводника называются акцепторами.

Теоретические сведения «Расшифровка марок монтажных проводов»:

В ассортименте кабельно-проводниковой продукции имеются также провода. Чем они отличаются от кабеля? Как правило, они имеют меньшее сечение, могут быть в изоляции или без нее. Есть провода, состоящие из одной жилы, есть — из нескольких.



Провод имеет меньшее сечение жил, обычно мягкий

Чтобы по названию можно было отличить их от кабелей, в названии в начале маркировки ставят букву «П». Она стоит на первом месте, если жилы медные и их обозначение просто не ставится (пример 1), или на втором месте, если жилы из алюминия и обозначаются буквой А (пример 2).

1. ПБППГ — провод (П), бытового и промышленного назначения (БП), плоской формы (П), гибкий (Г).
2. АППВ — алюминиевые проводники (А), провод плоский (ПП), в ПВХ оболочке.



Маркировка проводов разного назначения

Провода могут быть двух сечений:

- круглые — в маркировке это никак не отображается;
- плоские, тогда ставится буква П.

Если провод имеет специфическое назначение — монтажный — вместо буквы «П» ставят «М». Например, МГШВ. Расшифровывается как монтажный (М) многожильный (Г) провод в оболочке из полиамидного шелка и ПВХ.

Назначение монтажных проводов — для соединения частей приборов, электронной и электрической аппаратуры.

Марка провода	ГОСТ, ТУ	Конструктивные особенности
НВ	ГОСТ 17515-72	С медной луженой жилой в изоляции из поливинилхлоридного пластика
НВМ	То же	То же, с медной жилой
НВЭ	То же	С одной или несколькими медными лужеными жилами с изоляцией из поливинилхлоридного пластика
НВМЭ	То же	То же, с медными жилами
МГШВ	ТУ 16-505.437-82	С медной луженой жилой с изоляцией из поливинилхлоридного пластика с дополнительным волокнистым слоем
МГШВ-1	То же	То же, с дополнительным пленочным слоем
МГШВЭ	То же	То же, что МГШВ, экранированный
МЛТП	ТУ 16-505.554-81	С медной луженой жилой с изоляцией из облученного полиэтилена с дополнительной полиэфирной изоляцией
МСТП	То же	То же, с дополнительной изоляцией из стекловолокна
МПО	ТУ 16-505.339-79	С медной луженой жилой с изоляцией из облученного полиэтилена
МПОЭ	То же	То же. Экранированный
МГТФ	ТУ 16-505.185-71	С медной жилой с изоляцией из запеченных пленок фторопласта-4
МГТФЭ	То же	То же, с экраном из медных луженых проволок
Провода специального назначения типа МС	ТУ 16-505.083-78	С жилой из медных посеребренных проволок или из бронзовых посеребренных проволок с изоляцией и оболочкой из пленок фторопласта-4
	ТУ 16-505.813-80	То же, с изоляцией из пленок фторопласта Ф-4МБ
	ТУ 16.К76-011-88	С жилой из медной, бронзовой или медной посеребренной проволоки с изоляцией из полиимидного лака с экраном из медных луженых проволок

Расшифровка в маркировке монтажных проводов

Провода с изоляцией из ПВХ (в маркировке обозначаются буквой В) предназначены для работы при температуре не выше 70°C, из сшитого полиэтилена (Пв) — до 100°C. Для работы в среде, нагреваемой до температуры 200°C применяют провода типа МС и МГТФ.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно прочитать теоретическую часть;
2. Выполните Задание 1:
 1. Описать основные характеристики.
 2. Указать область применения полупроводникового материала.

Таблица 7.1

Номер варианта	Наименование проводникового материала
1	Германий
2	Кремний
3	Селен
4	Теллур
5	Карбид кремния Si C
6	Арсенид галлия
7	Антимонид галлия
8	Антимонид индия In Sb
9	Сульфид свинца Pb S

3. Выполните задание 2:

1. Расшифруйте марки проводов, предложенные преподавателем, и определите область их применения. Данные занесите в таблицу

Марка провода	Мат-л Токовые жилы	Мат-л изоляц.	Расшифровка марки	Условия эксплуатации	Область применен.
МГВ, МГВЭ					
БПВЛ					
МГЦСЛ					
МГШВ, МГШВЭ					
ПВЛ ПВЛЭ					
МГТФ, МГТФЭ					
МПО					

МВ					
----	--	--	--	--	--

4. Сделать вывод. Оформить отчет.

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Какими механическими свойствами обладают проводниковые материалы?
2. Какой металл является электротехническим стандартом?
3. Где используют материалы высокого сопротивления?
4. Охарактеризуйте проводниковые резистивные материалы и область их применения

Критерии оценки за практическую работу:

Оценка "**отлично**" ставится, если обучающийся выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности, работал полностью самостоятельно, без замечаний, работа оформлена аккуратно без ошибок и недочетов;

Оценка "**хорошо**" ставится, если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней 2–3 незначительных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя, работа оформлена аккуратно.

Оценка "**удовлетворительно**" ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил существенную ошибку, допустил неточности и небрежность в оформлении результатов работы.

Оценка "**неудовлетворительно**" ставится, если обучающийся допустил две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые не может исправить даже по требованию преподавателя, или работа не выполнена, обнаружено плохое знание теоретического материала и отсутствие необходимых умений.

Примечание.

Оценки с анализом доводятся до сведения обучающихся, как правило, на последующем уроке, предусматривается работа над ошибками, устранение пробелов.

Учебно-методическое и информационное обеспечение:

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М.: Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил.
2. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М.Адашкин, В.М.Зуев -М. Форум; ИНФРА-М, 2023.-335 с.: ил. <https://znanium.ru/read?id=449111>

Дополнительные источники:

1. Материаловедение: Учеб. для сред. проф. образования/ А.М. Адашкин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов; под ред. Ю.М. Соломенцева.- М. Высш. Шк., 2005.- 426 с.: ил.

Интернет-ресурсы:

1. Библиотека TLP <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php>
2. Журнал «Материаловедение».: http://www.nait.ru/journals/index.php?pJournal_id=2.
3. Материаловедение: образовательный ресурс.: <http://www.supermetalloved.narod.ru>.

Список источников и литературы

1. Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов: Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2023. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. —
2. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт].
3. —URL: <https://www.iprbookshop.ru/73753.html>
4. Слесарчук, В. А. Материаловедение и технология материалов [Электронный ресурс] учебное пособие / В. А. Слесарчук. — Электрон.текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2023. — 392 с. — 978-985-503-499-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67649.html>
5. Солнцев, Ю.П. Материаловедение: Учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Ю.П. Солнцев, С.А. Вологжанина .. - Санкт-Петербург: «ХИМИЗДАТ», 2023, 783 страницы.
6. Балькова, Т.И. Б212 Электротехническое материаловедение: учебник / Т.И. Балькова, С.М. Гайдар, А.М. Пикина. – М.: МЭСХ, 2023. – 250 с.