



Государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение Самарской области
«Чапаевский химико-технологический техникум»

**Методические указания по изучению дисциплины
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» и выполнению контрольных заданий для
студентов- заочников**

по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств в
химической промышленности

Одобрена

предметной (цикловой) комиссией
механических и автотранспортных
дисциплин

Протокол № 10 от 20.05.2019 г.

Председатель
_____ Л.И. Карпова.

Авторы: В.Л. Велигорская, преподаватель ГБПОУ «ЧХТТ»

Рецензенты: Л.И. Карпова, преподаватель ГБПОУ «ЧХТТ»

Аннотация:

Данные методические указания предназначены для совершенствования теоретических знаний и формирования практических умений и навыков по программе дисциплины ОП.05 «Материаловедение» для специальности: 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств в химической промышленности
В сборнике содержатся методические рекомендации по темам рабочей программы для заочного отделения.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	4
1	Рабочая программа дисциплины.	5
2	Методические указания по темам дисциплины и вопросы для самоконтроля.	6
3	Перечень практических работ	24
4	Перечень рекомендуемой литературы.	25

Введение

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства материалов в зависимости от их состава и условий обработки.

Для выпуска высококачественной продукции особое значение приобретают изучение свойств промышленных металлических материалов, разработка и внедрение в промышленность новых высокопрочных и технологичных сплавов, применение новейших методов их контроля и исследования. Знание основ материаловедения и технологии конструкционных материалов позволяет глубже понимать поведение материалов в разных условиях технологической обработки и эксплуатации, целенаправленно проводить выбор материалов с необходимыми свойствами и технологий изготовления деталей из них. Это обеспечивает получение изделий с заданными эксплуатационными свойствами, что имеет важное значение не только для конструкторов и технологов, но и экономистов в практике экономического обоснования целесообразности использования тех или иных материалов, способов получения заготовок и изделий из них.

При конструировании и изготовлении машин и приборов, организации их эксплуатации и ремонта техник постоянно сталкивается с машиностроительными материалами и их использованием.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- выбирать материалы для профессиональной деятельности;
- определять основные свойства материалов по маркам.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать**:

- основные свойства, классификацию, характеристики применяемых в профессиональной деятельности материалов;
- использование нанотехнологий в создании современных материалов, применяемых в машиностроении;
- физические и химические свойства металлов и сплавов.

Содержание курса базируется на знаниях по дисциплинам «Математика», «Физика», «Химия». Дисциплина «Материаловедение» является теоретической базой для изучения дисциплин: «Техническая механика», «Детали машин», «Инженерная графика»

Во 2-м семестре: установочные лекции – 2 часа обзорные лекции – 6 часов, практические занятия – 4 часа, консультации 2 часа, дифференцированный зачет.

В качестве базового учебника рекомендуется [1] (см. Перечень рекомендуемы учебных изданий).

Целью разработки данного методического указания является оказание методической помощи студентам при изучении дисциплины, определение уровня знаний и умений при выполнении самостоятельной работы.

1. Рабочая программа дисциплины
1.1 Объем учебной дисциплины и виды учебной работы.

Согласно учебному плану ГБПОУ «Чапаевский химико-технологический техникум» по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств в химической промышленности, на изучение дисциплины «Материаловедение» отводится 79 часов. Общий объем аудиторных занятий – 12 часов (установочные лекции 2 часа, обзорные лекции – 6 часов, практические занятия – 4 часа). Основной формой обучения является самостоятельная работа. Видом итогового контроля является дифференцированный зачет

**1.2 Тематический план
по дисциплине «Материаловедение»**

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего на изучение дисциплины, часов	Заочная форма обучения		
			Кол-во аудиторн. часов	В т.ч. лабораторно-практ. занятий	Самостоятельное изучение, часов
		79	8	4	68
	Раздел 1 Строение и свойства материалов	79	8	4	68
	Тема 1.1 Кристаллическое строение металлов и формирование структуры материалов	8	8		
1	Кристаллическое строение металлов. Типы и дефекты кристаллических решеток. Анизотропия кристаллов.	17	2		15
2	Основные свойства материалов Основы теории сплавов	17	2		15
3	Практическое занятие № 1 Составление характеристики механических свойств материалов (определение твердости)	16		2	14
4	Основы и виды термической обработки	16	2		14
5	Практическое занятие № 2 Определение кинематической вязкости масла	12		2	10
6	Дифференцированный зачет по курсу «Материаловедение»	2	2		
	Итого:	79	8	4	68

2 Методические указания по темам дисциплины и вопросы для самоконтроля.

Раздел 1 Строение и свойства материалов

Тема 1.1 Кристаллическое строение металлов и формирование структуры материалов

1. Кристаллическое строение металлов. Типы и дефекты кристаллических решеток. Анизотропия кристаллов

Значение и содержание учебной дисциплины «Материаловедение». Элементы кристаллографии: кристаллическая решетка, аллотропия, анизотропия; влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов; фазовый состав сплавов. Испытание металлов на растяжение, твердость, ударную вязкость.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материаловедение – наука, изучающая связь между строением (структурой) и свойствами материала, а также их изменения при внешних воздействиях (тепловом, механическом, химическом и др.)

Конструирование, изготовление, эксплуатация и ремонт машин и приборов связаны с машиностроительными материалами и их использованием.

Материалы - это *исходные* вещества для производства продукции и *вспомогательные* вещества для проведения производственных процессов.

Твердые тела делят на *кристаллические* и *аморфные*.

*Беспорядочное расположение атомов, когда они не занимают определенного места друг относительно друга. Такие тела называются **аморфными**.*

*Упорядоченное расположение атомов, когда атомы занимают в пространстве вполне определенные места, Такие вещества называются **кристаллическими**.*

*Совокупность таких пересекающихся линий представляет пространственную решетку, которую **называют кристаллической решеткой**.*

Типы кристаллических решеток:

На рис. 1 показаны три типа элементарных ячеек кристаллических решеток, наиболее характерные для металлов: **объемноцентрированная кубическая (ОЦК); гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГП)**, а также схемы упаковки в них атомов.

В кубической гранецентрированной решетке (ГЦК; А1) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (рис. 1, б).

В кубической объемноцентрированной решетке (ОЦК; А2) атомы расположены в вершинах куба, а один атом — в центре его объема (рис. 1, а).

В гексагональной плотноупакованной решетке (ГП; А3) атомы расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а три атома — в средней плоскости призмы (рис. 1, в).

Основу ОЦК-решетки составляет элементарная кубическая ячейка (рис. 1, б), в которой положительно заряженные ионы металла находятся в вершинах куба, и еще один атом в центре его объема, т. е. на пересечении его диагоналей. Такой тип решетки в определенных диапазонах температур имеют железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден и др. металлы.

У ГЦК-решетки (рис. 1, а) элементарной ячейкой служит куб с центрированными гранями. Подобную решетку имеют железо, алюминий, медь, никель, свинец и др. металлы.

Третьей распространенной разновидностью плотноупакованных решеток является гексагональная плотноупакованная (ГПУ, рис. 1, в). ГПУ-ячейка состоит из отстоящих друг от друга на параметр c параллельных центрированных гексагональных оснований. Три иона (атома) находятся на средней плоскости между основаниями. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, бериллий, титан и др.

Для характеристики кристаллических решеток вводят понятия координационного числа и коэффициента компактности. Координационным числом I_k называется число атомов, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от данного атома. Для ОЦК решетки координационное число равно 8, для решеток ГЦК и ГП оно составляет 12. Из этого следует, что решетка ОЦК менее компактна, чем решетки ГЦК и ГП. В решетке ОЦК каждый атом имеет всего 8 ближайших соседей, а в решетках ГЦК и ГП их 12.

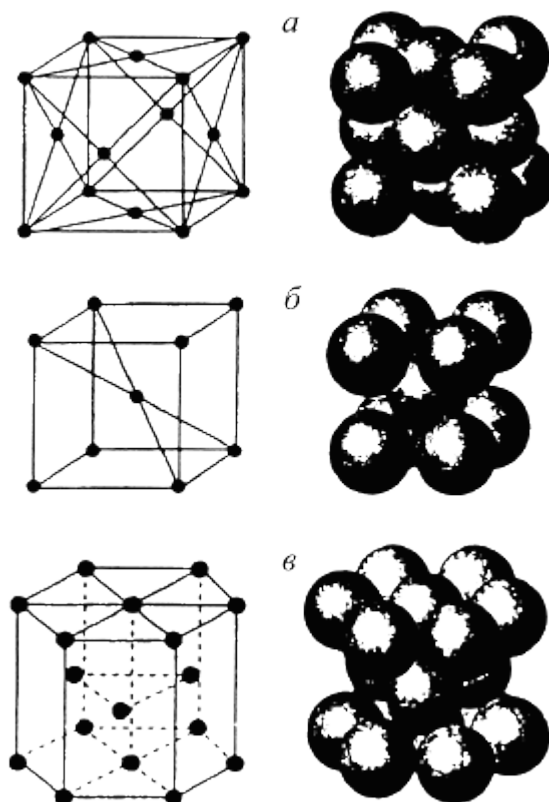


Рис. 1 Типы элементарных ячеек кристаллических решеток металлов и схемы упаковки в них атомов:

- a*) гранецентрированная кубическая (ГЦК);
- б*) объемноцентрированная кубическая (ОЦК);
- в*) гексагональная плотноупакованная (ГП или ГПУ) решетка

В зависимости от внешних условий (температуры, давления) металлы могут кристаллизоваться, образуя различные кристаллические формы. Это явление получило название **аллотропии** (полиморфизма).

Под **анизотропией** понимается неодинаковость механических и других свойств в кристаллических телах вдоль различных кристаллографических направлений. Она является естественным следствием кристаллического строения, так как на различных кристаллографических плоскостях и вдоль различных направлений плотность атомов различна.

Исследования строения металлов показали, что строение реальных кристаллов металлов в отличие от идеальных характеризуется большим количеством несовершенств (дефектов), влияющих на свойства металлов.

Дефекты кристаллической решетки разделяют на *точечные, линейные, поверхностные и объемные.* (рис.2)

Точечные дефекты появляются в результате образования вакансий (атомных дырок), внедрения инертных атомов и перемещения атомов в междоузлии.

Линейные дефекты, распространяющиеся на значительную длину, называют дислокациями. Они в ряде случаев вызывают искажение кристаллической решетки — нарушение правильного кристаллического строения вследствие отклонения отдельных атомов или их групп от положения устойчивого равновесия.

Поверхностные дефекты имеют значительные размеры в двух направлениях при малой толщине. Поверхностные дефекты вызваны наличием субзерен, а также различной ориентацией кристаллических решеток зерен.

Объемные дефекты кристаллической решетки включают трещины и поры. Наличие данных дефектов, уменьшая плотность металла, снижает его прочность.

Кроме того, трещины являются сильными концентраторами напряжений, в десятки и более раз повышающими напряжения создаваемые в металле рабочими нагрузками. Последнее обстоятельство наиболее существенно влияет на прочность металла.

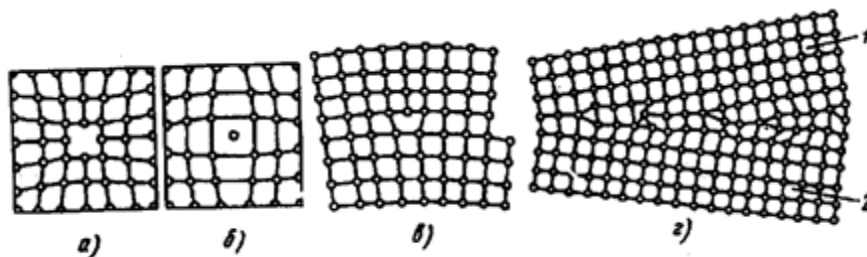


Рис. 2.

Вопросы для самоконтроля.

1. Как происходит кристаллизация металлов?
2. Перечислить основные виды кристаллических решеток металлов.
3. Почему свойства реальных металлов отличаются от идеальных?
4. Указать основные дефекты кристаллического строения. Каково их влияние на свойства металлов?
5. Перечислить основные механические свойства металлов.
6. Указать основные методы механических испытаний материалов.

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Стуканов В. А. *Материаловедение.* – М.: ФОРУМ: ИНФА – М, 2010.

Дополнительные источники:

1. Власов В. С. *Металловедение.* – М.: АЛЬФА – М: ИНФРА – М, 2010.

2. Сосенцев Ю. П., Вологжанина. *Материаловедение.* – М.: Академия, 2010

3. Кабанова Т.А., Бондаренко Г.Г. *Материаловедение. Учебник для СПО, 2-е изд.,* М: «Юрайт», 2016.

4. Чумаченко Ю.Т. и др. *Материаловедение для автомехаников.* Ростов-на-Дону, Феникс, 2010.

Интернет – ресурсы

<http://materiall.ru/> Все о металлах и материаловедении.

2. Основные свойства материалов

Основы теории сплавов

Понятие о сплаве. Типы сплавов: твердый раствор, химическое соединение, механическая смесь. Понятие о диаграмме состояния сплавов. Диаграммы состояния сплавов, образующие ограниченные и неограниченные твердые растворы.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Чистые металлы не всегда удовлетворяют требуемым свойствам. Поэтому широкое применение в технике получили сплавы. Преимущество сплавов состоит в том, что они могут быть получены с почти любыми заданными свойствами.

Составляющие части сплавов называются компонентами. В зависимости от характера соединения компонентов при затвердевании получают различные структуры, сплавов: а) механическая смесь; б) твердый раствор; в) химическое соединение.

От строения сплавов зависят их свойства. Так, твердые растворы хорошо закаляются, куются, сопротивляются ударным нагрузкам; химические соединения обладают высокой твердостью; механические смеси имеют высокие литейные свойства.

Поскольку сплавы имеют более сложное строение, чем чистые металлы, то процессы их кристаллизации существенно отличаются от процессов кристаллизации чистых металлов. Основное отличие состоит в том, что сплавы кристаллизуются не при одной, строго определенной температуре, а в интервале температур, т. е. имеются температуры начала и конца кристаллизации. Температуры, при которых изменяется строение металлов и сплавов, называются критическими точками.

Процессы кристаллизации сплавов играют очень важную роль: они определяют режимы термической обработки, выбор сплавов для литья,ковки и т. д. Проследить механизм образования структуры сплава при сравнительно медленном охлаждении из жидкого состояния в твердое и процесс изменения этой структуры при последующем охлаждении после полного затвердевания дают возможность диаграммы состояния. Основные сведения о диаграммах состояния сплавов достаточно подробно изложены в рекомендуемой литературе.

Наличие небольшого количества обычных примесей в стали не влияет существенно на положение критических точек и характер линий диаграммы, поэтому сталь можно с известным приближением рассматривать как двойной сплав железо—углерод (Fe—C).

Железо — металл, широко распространенный в природе. Плотность железа — 7,83; температура плавления— 1539°C.

Кривая охлаждения чистого железа указывает на наличие у него двух аллотропических форм. Железо легко сплавляется со многими элементами.

Углерод с железом образует химическое соединение (цементит) или может находиться в сплаве в свободном состоянии в виде графита.

Металлографический анализ показывает, что при сплавлении железа и углерода могут образоваться шесть структурных составляющих. Их строение и свойства достаточно подробно описаны в рекомендуемой литературе.

Диаграмма железо—цементит охватывает не все сплавы, а только часть их с содержанием углерода до 6,67%.

Как следует из диаграммы, превращения в этих сплавах происходят не только при затвердевании жидкого сплава, но и в твердом состоянии. Процессы, протекающие при первичной и вторичной кристаллизации железоуглеродистых сплавов, подробно описаны в рекомендуемой литературе.

При изучении первичной кристаллизации железоуглеродистых сплавов следует обратить внимание на то, что у разных сплавов она заканчивается по-разному. В соответствии с этим образуются две группы сплавов.

Сплавы, содержащие до 2,14% углерода, после затвердевания имеют только аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью. Они легко деформируются при нормальных и повышенных температурах, т. е. являются ковкими сплавами. Такие сплавы называют *сталью*.

По сравнению со сталью сплавы, содержащие более 2,14% углерода, отличаются хрупкостью, но лучшими литейными свойствами, в частности более низкими температурами плавления и меньшей усадкой, что обусловлено наличием хрупкой, но легкоплавкой структурной составляющей — ледобурита. Эти сплавы называются *чугуном*.

При изучении процессов вторичной кристаллизации следует четко уяснить, что фазовые и структурные превращения с понижением температуры вызваны или полиморфными превращениями в железе, или изменением растворимости углерода в аустените и феррите.

Линия GS — верхняя граница области сосуществования феррита и аустенита; при охлаждении эта линия соответствует температурам начала превращения гамма-железа в альфа-железо с образованием феррита. Это превращение протекает в интервале температур и сопровождается перераспределением углерода между ферритом и аустенитом. Температуры, соответствующие линии GS в условиях равновесия, принято обозначать A_3 .

По линии ES при охлаждении из аустенита начинает выделяться вторичный цементит в связи с уменьшением растворимости углерода в гамма-железе при понижении температуры. Каждая точка линии ES показывает содержание углерода в аустените при данной температуре. Критические точки, образующие линию ES, принято обозначать $A_{с1}$.

По линии PSK происходит распад аустенита с образованием эвтектоида - перлита во всех сплавах системы. Эвтектоидное превращение аустенита протекает при постоянной температуре. Критические точки, образующие линию PSK, принято обозначать A_1 .

Необходимо обратить внимание на то, что температура, при которой из аустенита начинает выделяться феррит или цементит (линии GS и ES), зависит от состава сплава, а превращение аустенита в перлит происходит во всех сплавах при одной и той же температуре.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов распределяются в объеме по-разному, в зависимости от содержания углерода.

В малоуглеродистых сталях, например, преобладает феррит, но чем больше в стали углерода, тем меньше в структуре избыточного феррита и больше перлита.

При содержании углерода более 0,8% свободный феррит отсутствует, но появляются включения цементита в виде сетки по границам зерен или игл.

В чугунах появляется эвтектика-ледобурит. Чем больше в чугуне углерода, тем меньше перлита и больше ледобурита.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется сплавом? Перечислите типы сплавов.
2. Каков принцип построения диаграмм состояния сплавов?
3. Как изменяются механические свойства сплавов в зависимости от их структуры?
4. Вычертить упрощенную диаграмму состояния сплавов железо – углерод и дать характеристику основным точкам, линиям и областям.
5. Дать характеристику структурным составляющим железоуглеродистых сплавов.
6. Как идет первичная кристаллизация железоуглеродистых сплавов?
7. Какие превращения происходят в железоуглеродистых сплавах при

затвердевании?

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Стуканов В. А. Материаловедение. – М.: ФОРУМ: ИНФА – М, 2010.

Дополнительные источники:

1. Власов В. С. Металловедение. – М.: АЛЬФА – М: ИНФРА – М, 2010.

2. Сосенцев Ю. П., Вологжанина. Материаловедение. – М.: Академия, 2010

3. Кабанова Т.А., Бондаренко Г.Г. Материаловедение. Учебник для СПО, 2-е изд., М: «Юрайт», 2016.

4. Чумаченко Ю.Т. и др. Материаловедение для автомехаников. Ростов-на-Дону, Феникс, 2010.

Интернет – ресурсы

<http://materiall.ru/> Все о металлах и материаловедении.

Практическое занятие № 1 «Составление характеристики механических свойств материалов (определение твердости)»

Методы измерения твердости

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твердость. Испытания на твердость производятся чаще, чем определение других механических характеристик металлов: прочности, относительного удлинения и др.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Твердостью материала называют способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого твердого тела. Для определения твердости в поверхность материала с определенной силой вдавливается тело (индентор), выполненное в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твердости материала. Таким образом, под твердостью понимают сопротивление материала местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела – индентора. В зависимости от способа измерения твердости материала, количественно ее характеризуют числами твердости по Бринеллю (НВ), Роквеллу (HRC) или Виккерсу (HV). Существует несколько способов измерения твердости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Твердость можно измерять вдавливанием индентора (способ вдавливания), ударом или же по отскоку наконечника – шарика. Твердость, определенная царапаньем, характеризует сопротивление разрушению, по отскоку – упругие свойства, вдавливанием – сопротивление пластической деформации. Перспективным и высокоточным методом является метод непрерывного вдавливания, при котором записывается диаграмма перемещения, возникающего при внедрении индентора, с одновременной регистрацией усилий. В зависимости от скорости приложения нагрузки на индентор твердость различают статическую (нагрузка прикладывается плавно) и динамическую (нагрузка прикладывается ударом).

Широкое распространение испытаний на твердость объясняется рядом их преимуществ перед другими видами испытаний:

- простота измерений, которые не требуют специального образца и могут быть выполнены непосредственно на проверяемых деталях;
- высокая производительность;
- измерение твердости обычно не влечет за собой разрушения детали, и после измерения ее можно использовать по своему назначению;
- возможность ориентировочно оценить по твердости другие характеристики металла (например предел прочности).

Наибольшее применение получило измерение твердости вдавливанием в испытываемый металл индентора в виде шарика, конуса и пирамиды (соответственно методы Бринелля (рис.1, а)), Роквелла (рис.1, б)) и Виккерса (рис.1, в)). В результате вдавливания достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Величина внедрения наконечника в поверхность металла будет тем меньше, чем тверже испытываемый материал.

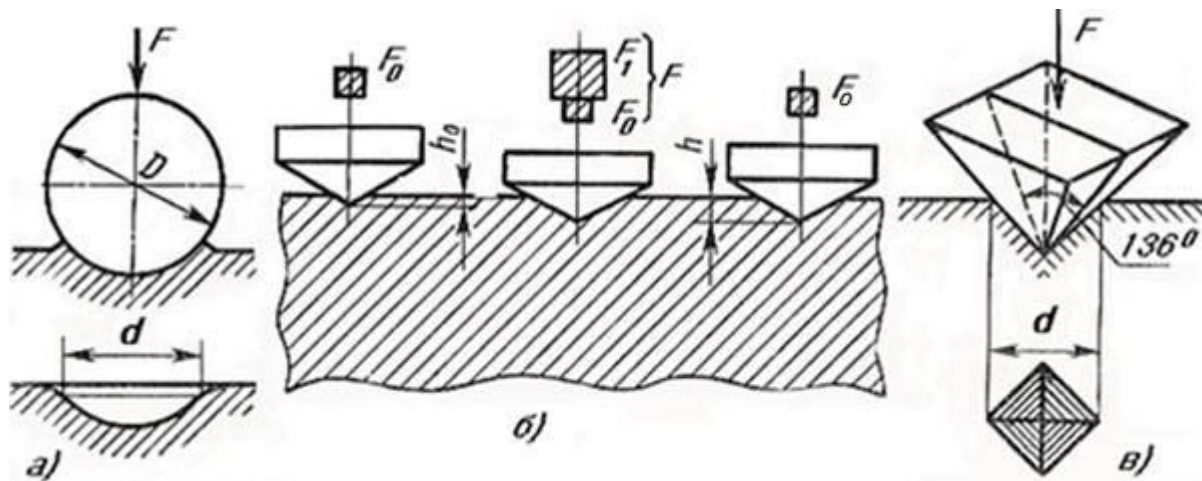


Рисунок 1 - Схемы испытаний на твердость: а - по Бринеллю; б - по Роквеллу; в - по Виккерсу.

КЛАССИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ

Твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59) измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра D под действием заданной нагрузки P в течение определенного времени (рис. 2). В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое $HВ$ (при применении стального шарика для металлов с твердостью не более 450 единиц) или $HВW$ (при применении шарика из твердого сплава для металлов с твердостью не более 650 единиц), представляет собой отношение нагрузки P к площади поверхности сферического отпечатка F и измеряется в кгс/мм² или МПа:

$$HВ = \frac{P}{F}, (1)$$

Площадь шарового сегмента составит:

$$F = \pi \cdot D \cdot h, \text{ мм}^2, (2)$$

где D – диаметр шарика, (мм);

h – глубина отпечатка, (мм).

Так как глубину отпечатка измерить трудно, а проще измерить диаметр отпечатка d , выражают h через диаметр шарика D и отпечатка d :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \text{ мм} (3)$$

Тогда,

$$F = \frac{\pi \cdot D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \text{ мм}^2 (4)$$

Число твердости по Бринеллю определяется по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ кгс/мм}^2 \text{ (5)}$$

В практике при определении твердости не делают вычислений по формуле (5), а пользуются таблицами, составленными для установленных диаметров шариков, отпечатков и нагрузок. Шарики применяют диаметром 1,2; 2,5; 5; 10 мм. Диаметр шарика и нагрузка выбираются в соответствии с толщиной и твердостью образца. При этом для получения одинаковых чисел твердости одного материала при испытании шариками разных диаметров необходимо соблюдать закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатков. Поэтому твердость измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки P и квадратом диаметра шарика D^2 . Это соотношение должно быть различным для металлов разной твердости.

Число твердости по Бринеллю, измеренное при стандартном испытании ($D = 10$ мм, $P = 3000$ кгс), записывается так: HB 350. Если испытания проведены при других условиях, то запись будет иметь следующий вид: HB 5/250/30-200 или 200 HB 5/250/30, что означает – число твердости 200 получено при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 250 кгс и длительности нагрузки 30 с. При испытании на твердость шаром из карбида вольфрама обозначение HB дополняется буквой W с сохранением указанных индексов. При измерении твердости по методу Бринелля необходимо выполнять следующие условия:

- образцы с твердостью выше HB 450/650 кгс/мм² испытывать запрещается;
- поверхность образца должна быть плоской и очищенной от окислов и других посторонних веществ;
- диаметры отпечатков должны находиться в пределах $0,2D < d < 0,6D$;
- образцы должны иметь толщину не менее 10-кратной глубины отпечатка (или менее диаметра шарика);
- расстояние между центрами соседних отпечатков и между центром отпечатка и краем образца должны быть не менее $4d$;
- продолжительность выдержки под нагрузкой должна быть от 10 до 15 с для черных металлов, для цветных металлов и сплавов – от 10 до 180 с, в зависимости от материала и его твердости.

Диаметр отпечатка измеряют при помощи отсчетного микроскопа (лупы Бринелля), на окуляре которого имеется шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра. Измерение проводят с точностью до 0,05 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю из полученных величин.

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Твердость по Роквеллу - твердость, определяемая разностью между условной максимальной глубиной проникновения индентора и остаточной глубиной его внедрения под действием основной нагрузки F_1 , после снятия этой нагрузки, но при сохранении предварительной нагрузки F_0 . При этом методом индентором является алмазный конус или стальной закаленный шарик. В отличие от измерений по методу Бринелля твердость определяют по глубине отпечатка, а не по его площади. Глубина отпечатка измеряется в самом процессе вдавливания, что значительно упрощает испытания. Нагрузка прилагается последовательно в две стадии (ГОСТ 9013-59): сначала предварительная, обычно равная 10 кгс (для устранения влияния упругой деформации и различной степени шероховатости), а затем основная (рис.1, б)).

После приложения предварительной нагрузки индикатор, измеряющий глубину отпечатка, устанавливается на нуль. Когда отпечаток получен приложением

окончательной нагрузки, основную нагрузку снимают и измеряют остаточную глубину проникновения наконечника h .

Твердомер Роквелла измеряет разность между глубиной отпечатков, полученных от вдавливания наконечника под действием основной и предварительной нагрузок. Каждое давление (единица шкалы) индикатора соответствует глубине вдавливания 2 мкм. Однако условное число твердости по Роквеллу (HR) представляет собой не указанную глубину вдавливания h , а величину $100 - h$ по черной шкале при измерении конусом и величину $130 - h$ по красной шкале при измерении шариком. Числа твердости по Роквеллу не имеют размерности и того физического смысла, который имеют числа твердости по Бринеллю, однако можно найти соотношение между ними с помощью специальных таблиц.

HRA, HRC, HRD – твердость по Роквеллу измеренная при внедрении в поверхность образца алмазного конуса.

HRB, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK - твердость по Роквеллу измеренная при внедрении в поверхность образца стального сферического наконечника.

Наконечник алмазный конусный имеет угол при вершине 120° . Наконечник шариковый стальной имеет диаметр 1,588 (шкалы В, F, G) и 3,175 (шкалы Е, Н, К).

Твердость по методу Роквелла можно измерять:

- алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кгс. Твердость измеряется по шкале С и обозначается HRC (например, 65 HRC). Таким образом определяют твердость закаленной и отпущенной сталей, материалов средней твердости, поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм;

- алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кгс. Твердость измеряется по шкале А, совпадающей со шкалой С, и обозначается HRA. Применяется для оценки твердости очень твердых материалов, тонких поверхностных слоев (0,3 ... 0,5 мм) и тонколистового материала;

- стальным шариком с общей нагрузкой 100 кгс. Твердость обозначается HRB. Так определяют твердость мягкой (отожженной) стали и цветных сплавов.

При измерении твердости методом Роквелла необходимо, чтобы на поверхности образца не было окалины, трещин, выбоин и др. Необходимо контролировать перпендикулярность приложения нагрузки и поверхности образца и устойчивость его положения на столике прибора. Расстояние отпечатка должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4 мм при вдавливании шарика. Толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основной нагрузки. Твердость следует измерять не менее 3 раз на одном образце, усредняя полученные результаты.

Преимущество метода Роквелла по сравнению с методом Бринелля:

- возможность проводить испытания высокой твердости путём отсчёта по шкале индикатора без вычисления или пользования специальными таблицами;

- малая повреждаемость поверхности в результате его применения;

- высокая производительность измерения.

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ

При испытании на твердость по методу Виккерса в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине равным 136° (рис.1, в)). После снятия нагрузки вдавливания измеряется диагональ отпечатка d . Число твердости по Виккерсу HV подсчитывается как отношение нагрузки P к измеренному значению диагонали отпечатка M :

$$HV = \frac{P}{M} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d_1^2} = 1.854 \frac{P}{d_1^2}, (6)$$

Число твердости по Виккерсу обозначается символом HV с указанием нагрузки P и времени выдержки под нагрузкой, причем размерность числа твердости (кгс/мм²) не ставится. Продолжительность выдержки индентора под нагрузкой принимают для сталей 10 – 15 с, а для цветных металлов – 30 с.

Например, 450 HV10/15 означает, что число твердости по Виккерсу 450 получено при P = 10 кгс (98,1 Н), приложенной к алмазной пирамиде в течение 15 с. При измерении твердости по Виккерсу должны быть соблюдены следующие условия:

- плавное возрастание нагрузки до необходимого значения;
- обеспечение перпендикулярности приложения действующего усилия к испытываемой поверхности;
- поверхность испытываемого образца должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм;
- поддержание постоянства приложенной нагрузки в течении установленного времени;
- расстояние между центром отпечатка и краем образца или соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка;
- минимальная толщина образца должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза; для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза.

Преимущество метода Виккерса по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что методом Виккерса можно испытывать материалы более высокой твердости из-за применения алмазной пирамиды.

Число сравнительной твердости испытываемого объекта по Виккерсу (HV_c) вычисляют по формуле:

$$HV_c = HV_{\text{э}} \times \left(\frac{d_{\text{э}}}{d_0} \right)^2 \times \frac{\eta_{\text{кэ}}}{\eta_{\text{к0}}}, (7)$$

где HV_э - среднее значение твердости контрольного бруска по Виккерсу, измеренное посредством статического стационарного прибора; η_{кэ} и η_{к0} - динамические коэффициенты твердости материалов стального контрольного бруска и испытываемого объекта при ударном внедрении конуса. При измерении этим методом сравнительной твердости по Бринеллю стальной шарик диаметром D одновременно внедряют в поверхности стального контролируемого бруска и испытываемого объекта под действием кратковременной нагрузки P_д, создаваемой ударным методом. После снятия индентора с испытываемой поверхности измеряют диаметры отпечатков шарика на поверхностях контрольного бруска d_э и испытываемого объекта d₀ или глубины восстановленных отпечатков на поверхностях объекта h₀ и стального контрольного бруска h_э.

Число сравнительной твердости испытываемого объекта по Бринеллю (HB_c) вычисляют по формуле:

$$HB_c = HB_{\text{э}} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{\text{э}}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_0^2}} \times \frac{\eta_{\text{шэ}}}{\eta_{\text{ш0}}}, (8)$$

где HB_э - среднее значение твердости контрольного бруска по Бринеллю стального

контрольного бруска, измеренное посредством статических стационарных приборов ТШ и ТК;

D – диаметр шарика, мм;

$dэ$ – диаметр восстановленного ударного отпечатка на поверхности контрольного бруска, мм;

$d0$ – диаметр восстановленного ударного отпечатка на поверхности испытуемого образца, мм;

$nшэ$ и $nш0$ - динамические коэффициенты твердости материалов стального контрольного бруска и испытуемого объекта при ударном внедрении шарика со скоростью 0,72 - 2 м/с. Диаметры отпечатков измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют как среднее арифметическое результатов двух измерений. Измерение диаметров ударных отпечатков конического индентора на испытуемой поверхности и поверхности контрольного бруска должно осуществляться с помощью отсчётного оптического микроскопа, погрешность которого не должна превышать $\pm 0,01$ мм на одно наименьшее деление шкалы. Измерение диаметров ударных отпечатков шарика на испытуемой поверхности и поверхности контрольного бруска должно осуществляться с помощью отсчётного оптического микроскопа, погрешность которого не должна превышать $\pm 0,5$ мм на одно наименьшее деление шкалы.

Вопросы для самоконтроля.

1. Назвать способы определения твердости.
2. Описать все три способа и назвать их отличие друг от друга.

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Стуканов В. А. Материаловедение. – М.: ФОРУМ: ИНФА – М, 2010.

Дополнительные источники:

1. Власов В. С. Металловедение. – М.: АЛЬФА – М: ИНФРА – М, 2010.

2. Сосенцев Ю. П., Вологжанина. Материаловедение. – М.: Академия, 2010

3. Кабанова Т.А., Бондаренко Г.Г. Материаловедение. Учебник для СПО, 2-е изд., М: «Юрайт», 2016.

4. Чумаченко Ю.Т. и др. Материаловедение для автомехаников. Ростов-на-Дону, Феникс, 2010.

Интернет – ресурсы

<http://materiall.ru/> Все о металлах и материаловедении.

4. Основы и виды термической обработки

Определение и классификация видов термической обработки. Виды термической обработки стали: отжиг, нормализации, закалка, отпуск закаленных сталей. Термомеханическая обработка, виды, сущность, область применения.

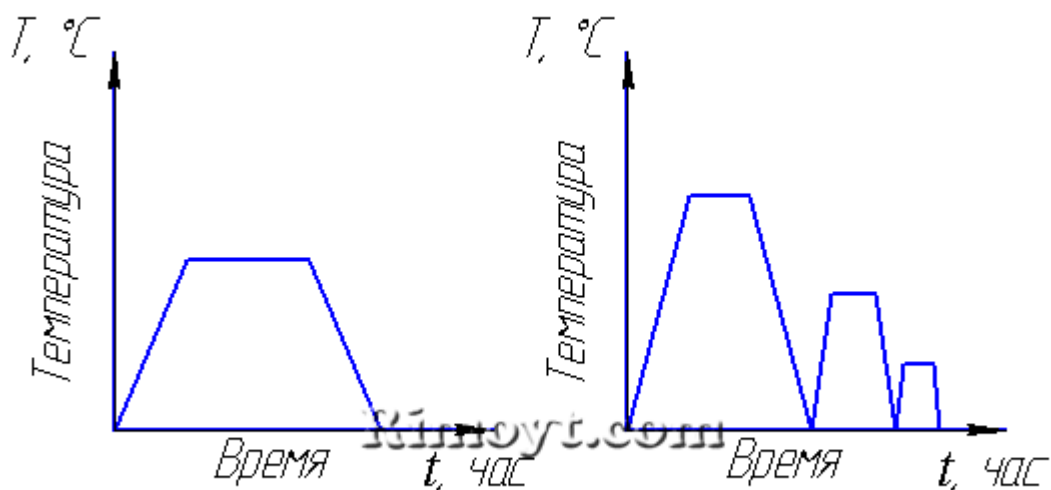
Определение и классификация основных видов химико-термической обработки металлов и сплавов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Термической обработкой (термообработкой) называют совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутренней структуры.

Так как основными параметрами термической обработки являются **температура** и **время**, то любой процесс термообработки может быть представлен графиком в координатах “температура-время”. Если термическая обработка состоит только из одной операции (нагрев-выдержка-охлаждение), то она называется простой, а если из нескольких операций - сложной.

Графики термической обработки



Простая термообработка

Сложная термообработка

Графики термической обработки: простой и сложной

Основными видами термической обработки являются:

Отжиг

Нормализация

Закалка

Отпуск

Отжиг заключается в нагреве сталей до температур выше фазового превращения с последующей выдержкой и медленным охлаждением сплава вместе с печью. В результате отжига получают структуру перлит с ферритом или цементитом, и **сталь** приобретает **высокую пластичность** и **низкую твёрдость**.

Отжигу подвергают отливки, поковки, прокат, заготовки из **углеродистой** и **легированной** стали.

Различают следующие **виды отжига**: неполный, полный, низкотемпературный, диффузионный и рекристаллизационный.

Если после нагрева охлаждение происходит не вместе с печью, а на воздухе, то такую операцию называют **нормализацией**. Получаемая структура после нормализации – мелкопластинчатая перлитного класса (перлит, сорбит, троостит).

Для низкоуглеродистых сталей структура и свойства после отжига и нормализации ничем не отличаются.

При этом операция нормализации дешевле отжига.

По этой причине для низкоуглеродистых сталей рациональней проводить нормализацию.

Отличия в структуре появляются с повышением содержания углерода. Также существенно может отличаться структура после отжига и нормализации у легированных сталей.

Закалка – нагрев стали до температур выше фазовых превращений с последующим быстрым охлаждением со скоростью выше критической. Цель закалки – придать стали большую **твердость**. После закалки сталь приобретает неравновесную метастабильную структуру и обладает высокой прочностью, твердостью, износостойкостью и повышенной хрупкостью. **Закалка не является окончательным видом термической обработки.**

Для устранения избыточных напряжений и повышенной хрупкости сталь после закалки обязательно подвергают отпуску.

Отпуск – нагрев закаленной стали до температур ниже фазовых превращений с последующим охлаждением.

В результате отпуска структура стали переходит к более равновесному состоянию, **твердость снижается, а пластичность повышается.**

В зависимости от температуры нагрева **отпуск подразделяется на:**
низкий (150–250 °С),
средний (300–450 °С),
высокий (500–700 °С).

С увеличением температуры отпуска повышаются пластические свойства и снижается прочность стали.

Самопроизвольный отпуск закаленных сталей при незначительном нагреве или без него, наблюдающийся с течением времени называют **старением**.

Улучшение. Закалку в сочетании с высоким отпуском называют улучшением. Его назначение – измельчение структуры, повышение механических свойств и повышение обрабатываемости стали резанием.

Химико-термическая обработка (ХТО) стали — совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (углерод, азот, алюминий, кремний, хром и др.) при высоких температурах.

Поверхностное насыщение стали металлами (хром, алюминий, кремний и др.), образующими с железом твердые растворы замещения, более энергоемко и длительнее, чем насыщение азотом и углеродом, образующими с железом твердые растворы внедрения. При этом диффузия элементов легче протекает в решетке альфа-железо, чем в более плотноупакованной решетке гамма-железо.

Химико-термическая обработка повышает твердость, износостойкость, кавитационную, коррозионную стойкость. Химико-термическая обработка, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивает надежность, долговечность.

Виды химико-термической обработки:

Цементация

Азотирование

Цианирование

Алитирование

Цементация – процесс поверхностного насыщения **стали углеродом** при температуре 900–950 °С.

Цементацию применяют для получения высокой твердости поверхности (до 65 HRC), повышения износостойкости и усталостной прочности. Часто цементации подвергают

детали, работающие при повышенном трении, одновременно воспринимающие слабые ударные нагрузки (зубчатые колеса, шейки коленчатых валов). После цементации сердцевина стали сохраняет определенную вязкость.

Для цементации обычно применяют углеродистые и легированные стали с содержанием углерода 0,2-0,3%. Глубина цементированного слоя – 0,2-2,5 мм.

Азотирование – процесс насыщения поверхности стали или **чугуна азотом** в среде *диссоциированного аммиака* при температуре 480-700 °С.

Азотирование применяют для упрочнения верхних слоев сплавов, повышения износостойкости, а также получения антикоррозионной поверхности.

Глубина азотированного слоя 0,1-0,8 мм.

Азотированию подвергают детали машин, работающие в условиях трения и знакопеременных нагрузок – зубчатые колеса, валики, шпиндели, гильзы моторов и насосов, кулачки, мерительный инструмент.

Цианирование – процесс, при котором поверхностный слой стали одновременно насыщается **азотом и углеродом**.

Различают цианирование:

низкотемпературное (530-560 °С)

высокотемпературное (820-870 °С)

Низкотемпературное цианирование применяют для режущего инструмента, высокотемпературное – для мелких зубчатых колес, болтов, гаек из конструкционных сталей.

Алитирование – химико-термическая обработка **алюминием** стальных и чугунных изделий. В результате термодиффузии на поверхности изделий образуется пленка окиси алюминия, которая обеспечивает повышение жаростойкости изделий.

Алитирование применяют для деталей, которые работают при высоких температурах, но не подвергаются большим силовым и ударным нагрузкам, а также не работающим на истирание. Алитирование применяют для деталей термических печей, вентиляторов.

К дефектам закалки относятся:

- трещины,
- поводки или коробление,
- обезуглероживание.

Главная причина **трещин и поводки** — неравномерное изменение объема детали при нагреве и, особенно, при резком охлаждении. Другая причина — увеличение объема при закалке на мартенсит. Трещины возникают потому, что напряжения при неравномерном изменении объема в отдельных местах детали превышают прочность металла в этих местах.

Лучшим способом уменьшения напряжений является медленное охлаждение около температуры мартенситного превращения. При конструировании деталей необходимо учитывать, что наличие острых углов и резких изменений сечения увеличивает внутреннее напряжение при закалке.

Коробление (или поводка) возникает также от напряжений в результате неравномерного охлаждения и проявляется в искривлениях деталей. Если эти искривления невелики, они могут быть исправлены, например, шлифованием. Трещины и коробление могут быть предотвращены предварительным отжигом деталей, равномерным и постепенным нагревом их, а также применением ступенчатой и изотермической закалки.

Обезуглероживание стали с поверхности — результат выгорания углерода при высоком и продолжительном нагреве детали в окислительной среде. Для предотвращения обезуглероживания детали нагревают в восстановительной или нейтральной среде (восстановительное пламя, муфельные печи, нагрев в жидких средах).

Образование окалины на поверхности изделия приводит к угару металла, деформации. Это уменьшает теплопроводность и, стало быть, понижает скорость нагрева изделия в

печи, затрудняет механическую обработку. Удаляют окалину либо механическим способом, либо химическим (травлением).

Выгоревший с поверхности металла углерод делает изделия обезуглероженным с пониженными прочностными характеристиками, с затрудненной механической обработкой. Интенсивность, с которой происходит окисление и обезуглероживание, зависит от температуры нагрева, т. е. чем больше нагрев, тем быстрее идут процессы.

Образование окалины при нагреве можно избежать, если под закалку применить пасту, состоящую из жидкого стекла — 100 г, огнеупорной глины — 75 г, графита — 25 г, буры — 14 г, карборунда — 30 г, воды — 100 г. Пасту наносят на изделие и дают ей высохнуть, затем нагревают изделие обычным способом. После закалки его промывают в горячем содовом растворе. Для предупреждения образования окалины на инструментах быстрорежущей стали применяют покрытие бурой. Для этого нагретый до 850°C инструмент погружают в насыщенный водный раствор или порошок буры

Вопросы для самоконтроля.

1. Какую структуру получит сталь после нагрева для термообработки?
2. Перечислить структурные составляющие, образующиеся в стали при охлаждении с различной скоростью, охарактеризовать их строение и свойства.
3. Что такое отжиг и нормализация и в чем различия между ними?
4. Каковы основные виды закалки?
5. Для чего проводят отпуск закаленной стали? Перечислите его основные разновидности.
6. В чем преимущества поверхностной закалки?
7. Перечислить виды химико-термической обработки. С какой целью ее проводят?
8. Дать определение термической обработке.

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Стуканов В. А. Материаловедение. – М.: ФОРУМ: ИНФА – М, 2010.

Дополнительные источники:

1. Власов В. С. Металловедение. – М.: АЛЬФА – М: ИНФРА – М, 2010.

2. Сосенцев Ю. П., Вологжанина. Материаловедение. – М.: Академия, 2010

3. Кабанова Т.А., Бондаренко Г.Г. Материаловедение. Учебник для СПО, 2-е изд., М: «Юрайт», 2016.

4. Чумаченко Ю.Т. и др. Материаловедение для автомехаников. Ростов-на-Дону, Феникс, 2010.

Интернет – ресурсы

<http://materiall.ru/> Все о металлах и материаловедении.

5. Практическое занятие № 2 «Определение кинематической вязкости масла»

Кинематическая вязкость характеризует текучесть масел при нормальной и высокой температурах. Методы определения этой вязкости относительно просты и точны. Стандартным прибором в настоящее время считается стеклянный капиллярный вискозиметр, в котором измеряется время истечения масла при фиксированной температуре. Стандартными температурами являются 40 и 100 °С.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Кинематическая вязкость представляет собой отношение динамической вязкости к плотности вещества. $\nu = \mu / \rho$; где ν - кинематической вязкости (ню), ρ — плотность жидкости; μ — динамическая вязкость раствора (ми).

Кинематическая вязкость в старых источниках часто указана в сантистоксах (сСт).

В СИ эта величина переводится следующим образом: $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2 / 1 \text{ с} = 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$
Определение кинематической вязкости смазочного масла производят с помощью **вискозиметра** Когда две жидкости равного объема помещены в идентичные капиллярные вискозиметры и двигаются самотеком, вязкой жидкости требуется больше времени для протекания через капилляр. Если одной жидкости для вытекания требуется 200 секунд, а другой - 400, то по шкале кинематической вязкости вторая жидкость в два раза более вязкая, чем первая.

Кинематическая вязкость определяется легко и точно, поэтому для контроля над качеством производимых смазочных масел предпочтение отдают именно этому параметру.

Для определения вязкости жидкости, вязкость которой выше вязкости воды, используют вискозиметр Энглера. Кроме градусов Энглера, принятых в России и в европейских странах, используются: в Англии секунды – Редвуда 1, в США и американских странах – секунды Сейболта. Вязкость определяется по вискозиметру Редвуда или Сейболта в абсолютных единицах (секундах) путем замера времени истечения 50 мл (Редвуда) или 60 мл (Сейболта) при $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$

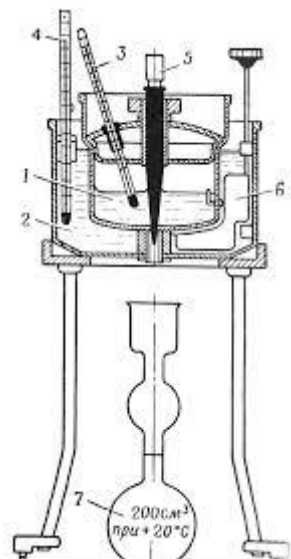


Рис. 1 Вискозиметр Энглера.

Состоит из 1- резервуар для продукта; 2 – масляная баня; 3 – термометр для продукта; 4 – термометр для бани; 5 – стержень; 6 – мешалка; 7 – мерная колба.

Решить задачу:

Пример 1.

Дана плотность жидкости $\rho = 903,6 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость раствора $\mu=0,62$.
Определить: ν - кинематическую вязкость раствора.

Решение. Находим кинематическую вязкость по формуле.

$$\nu = \mu / \rho = 0,62 \cdot 903,6 = 560,2 \cdot 10^{-4} = 0,056 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Пример 2. Вязкость нефти, определенная по вискозиметру Энглера, составляет $8,5 \text{ }^0\text{E}$.
Определить динамическую вязкость нефти, если ее плотность $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Находим кинематическую вязкость по формуле Убеллоде

$$\nu = \left(0,0731 \cdot \text{ }^0\text{E} - \frac{0,0631}{\text{ }^0\text{E}} \right) 10^{-4} ;$$

$$\nu = (0,0731 \cdot 8,5 - 0,0631/8,5) \cdot 10^{-4} = 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

находим динамическую вязкость нефти

$$\mu = \nu \cdot \rho ; \mu = 0,614 \cdot 10^{-4} \cdot 850 = 521,9 \cdot 10^{-4} = 0,052 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое кинематическая вязкость?
2. Как рассчитывается постоянная вискозиметра?
3. Что называют вязкостью?
4. Что называют динамической вязкостью и в каких единицах она измеряется?
5. В чем заключается определение кинематической вязкости и по какой формуле ее вычисляют?
6. Последовательность метода определения кинематической вязкости.
7. В чем заключается метод определения кинематической вязкости?

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

1. Гуреев А.А., Иванова Р.Я., Щеголев Н.В. Автомобильные эксплуатационные материалы. – М.: Транспорт, 2010.
2. Путилова. Руководство к практическим занятиям по коллоидной химии. – М.: Высш. шк., 2010.
3. Степанов П.П., Чесноков Н.А. Современное состояние техники измерения вязкости. – М.: Стандартгиз, 2010.

Интернет – ресурсы:

<http://materiall.ru/> Все о металлах и материаловедении.

3 Перечень практических работ

№ темы	Номер и наименование занятия
1.1	Практическое занятие № 1. «Составление характеристики механических свойств материалов (определение твердости)»
1.1	Практическое занятие № 2 «Определение кинематической вязкости масла»

4 Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Для преподавателей

1. А.М.Адаскин, Ю.В.Седов, А.К.Онегина, В.Н.Климов, Материаловедение: Учеб. для учрежд. сред. профессион. образования / под ред. Ю.М.Соломенцева. – М: высш.шк., 2010.
2. Кабанова Т.А., Бондаренко Г.Г.Материаловедение. Учебник для СПО, 2-е изд., М: «Юрайт», 2016.
3. Козлов Ю.С. Материаловедение: Учебник /Издательство: «Агар», 2010.
4. Пряхин Е.И., Солнцев Ю.П Материаловедение: Учебник /Издательство: Химиздат. 2010.
5. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение для автомехаников. Учебник /Ю.Т. Чумаченко, Г.В.Чумаченко. -4-е изд. перераб.- Ростов н/Д:Феникс, 2010.
6. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение. Учебник /Ю.Т. Чумаченко, Г.В.Чумаченко. - 4-е изд. перераб.- Ростов н/Д:Феникс, 2010

Для студентов.

1. Стуканов В. А., [Материаловедение](#), Изд-во: Форум, Инфра-М, 2010.

Дополнительная

Для преподавателей

1. Адаскин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка): Учеб. пособие. – М: ОИЦ «Академия», 2010.
2. Материаловедение: Учеб. пособие. Давыдова И.С., Максина Е.Л. Издательство: РИОР, 2010.
3. Основы материаловедения (металлообработка): Учебное пособие для НПО, Заплатин В.Н., Сапожников Ю.И., Дубов А.В., Издательство: [Академия](#), 2010 .

Для студентов.

- 1.Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов: Учебник для техникумов. -8-е изд., перераб. и доп. –СПб.: Политехника, 2013.

Интернет-ресурсы:

1. <http://materialu-adam.blogspot.com/>
2. <http://www.twirpx.com/files/machinery/material/>.
3. <https://www.for-stydenst.ru>.
4. <http://www.php-include.ru>.
5. lokomotivref.ru.
6. <https://www.spreaker.com>.
7. <https://www.ozon.ru>.