

Практическая работа 1

Тема: Рассмотрение способов испытания металлов на твердость и возможность их применения

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

Задание:

1. Внимательно прочитайте теоретическую часть;
2. Выполните задание 1-4;
2. Решите задачу;
3. Ответьте на контрольные вопросы;
4. Сделайте выводы.

Теоретическая часть

Материаловедение - наука, изучающая строение и свойства металлов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами.

Под *металлами* в технике понимают вещества, обладающие металлическим блеском, высокими пластичностью, тепло- и электропроводностью, прочностью. Однако такими свойствами обладают не только чистые металлы, но и металлические сплавы, состоящие из нескольких металлов. Поэтому в технике металлические сплавы также можно называть металлами, имея в виду их общие характерные свойства. Несмотря на достигнутые успехи в создании и использовании неметаллических материалов (пластмассы, полимеры и др.), основными конструкционными материалами еще долгое время будут оставаться металлы и металлические сплавы.

Российские ученые внесли большой вклад в развитие материаловедения как науки. Например, горный инженер П.П. Аносов, работавший в г. Златоусте на Урале, первый в мире в 1831 г. разработал методику для применения микроскопа для изучения структуры металлов, заложив основы их макро- и микроисследований. Выдающийся русский ученый Д. К. Чернов в 1868 г. открыл критические точки стали, благодаря чему установил истинные причины изменения ее свойств в процессе термической обработки.

Кристаллическое строение металлов. Разнообразные свойства металлов, благодаря которым они широко используются в технике, определяются их строением. Металлы являются телами кристаллическими. Кристаллическое состояние характеризуется закономерным (упорядоченным) расположением атомов в пространстве. Каждый атом в кристалле имеет одно и то же число ближайших атомов-соседей. Если соединить атомы воображаемыми линиями в трех взаимно-перпендикулярных направлениях, то получится пространственная кристаллическая решетка. Находясь в узлах кристаллической решетки, атомы (положительно заряженные ионы) совершают колебания относительно своего среднего положения. Со своими ближайшими соседями атомы связаны при помощи валентных электронов. Эти электроны называют *коллективизированными*. Они могут свободно перемещаться, образуя электронный газ. Между положительно заряженными ионами и окружающими их валентными электронами, образующими электронный газ, возникают силы электростатического притяжения. Такое притяжение характеризует металлический тип связи, которая удерживает отдельные атомы в металле.

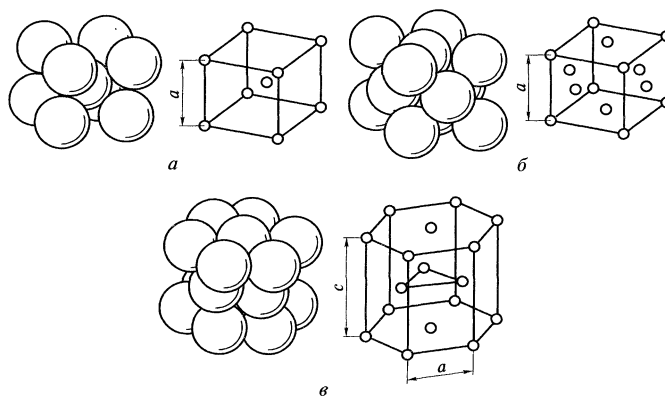
Благодаря наличию электронного газа, металлы обладают высокими электро- и теплопроводностью. Поэтому даже небольшая разность потенциалов вызывает в металлах электрический ток, т.е. перемещение электронного газа. При повышении температуры дополнительные тепловые колебания ионов затрудняют направленное перемещение электронного газа, что приводит к снижению электропроводности металлов.

Металлы имеют кристаллические решетки различных типов, наиболее типичными из которых являются:

В *объемно-центрированной кубической решетке (ОЦК)* атомы расположены в углах и центре куба. Данный тип решетки имеют металлы K, Na, Li, Ta, W, Mo, Fe α , Cr, Nb и др.

В *гранецентрированной кубической решетке (ГЦК)* атомы расположены в углах куба и центрах его граней. Кубическую гранецентрированную решетку имеют следующие металлы: Ca, Pb, Ni, Ag, Au, Pt, Fe γ и др.

В *гексагональной плотноупакованной решетке (ГПУ)* атомы расположены в вершинах и центрах шестигранных оснований призмы, кроме того, три атома находятся в средней плоскости призмы. Имеют следующие металлы: Ru, Cd, Mg, Zn



Типы кристаллических решеток и схемы упаковки в них атомов:

a — объемно-центрированная кубическая; *б* — гранецентрированная кубическая; *в* — гексагональная плотноупакованная

Кроме перечисленных металлы могут иметь и другие типы кристаллических решеток. Однако в некоторых металлах (железо, олово, титан и другие) кристаллическая решетка может перестраиваться в зависимости от температуры. Например, железо до температуры 911 °С имеет ОЦК решетку, а при превышении этой температуры перестраивает ее в ГЦК решетку, которая сохраняется до температуры 1392°С. При повышении температуры до температуры плавления (1539°С) железо снова приобретает ОЦК решетку.

Способность металла изменять тип своей кристаллической решетки в зависимости от температуры называется *аллотропией* или *поллиморфизмом*, а переходы от одного кристаллического строения к другому называются *аллотропическими* или *поллиморфными*.

Основной, причиной аллотропии является стремление вещества обладать минимальным запасом свободной энергии. Если при достижении определенной температуры изменение типа кристаллической решетки обеспечивает уменьшение запаса свободной энергии, то такой металл претерпевает аллотропическое превращение.

Механические свойства материалов и основные методы их определения.

Механическими свойствами материалов называют свойства, которые выявляются испытаниями при воздействии внешних нагрузок. В результате испытаний определяют следующие механические свойства материалов: упругость, пластичность, прочность, твердость, вязкость, усталость, трещиностойкость, хладостойкость и жаропрочность. Значения механических свойств необходимы для выбора материалов и режимов их технологической обработки, расчетов на прочность деталей и конструкций, контроля и диагностирования их прочностного состояния в процессе эксплуатации.

При механических испытаниях стремятся воспроизвести такие условия воздействия на материал, которые имеют место в процессе эксплуатации. Многообразие условий использования материалов и видов их обработки вызывает необходимость различных ви-

дов механических испытаний.

Прочность - это свойство материала сопротивляться деформации или разрушению.

Пластичностью называется свойство материалов необратимо изменять свои форму и размеры под действием внешней нагрузки. Пластичность - важное свойство и в сочетании с высокой прочностью делает металлы основным конструкционным материалом в технике.

Твердость - это свойство материала оказывать сопротивление деформации или хрупкому разрушению при внедрении индентора в его поверхность. *Испытание на твердость* - самый простой вид механических испытаний. Наибольшее распространение получили статические методы испытания на твердость при вдавливании индентора: методы Бринелля, Виккерса и Роквелла.

По *методу Бринелля* в поверхность материала вдавливается стальной шарик диаметром D .

По *методу Виккерса* в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$.

По *методу Роквелла* в поверхность материала вдавливается алмазный конус с углом при вершине 120° .

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.

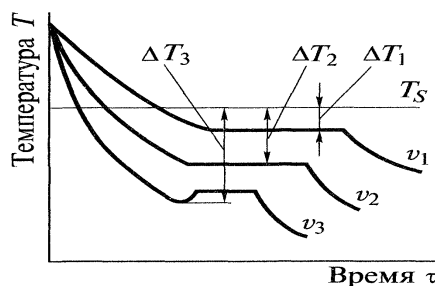


Рис. 1. Кривые охлаждения чистого металла: степени переохлаждения при скоростях охлаждения v_1, v_2, v_3 соответственно

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.

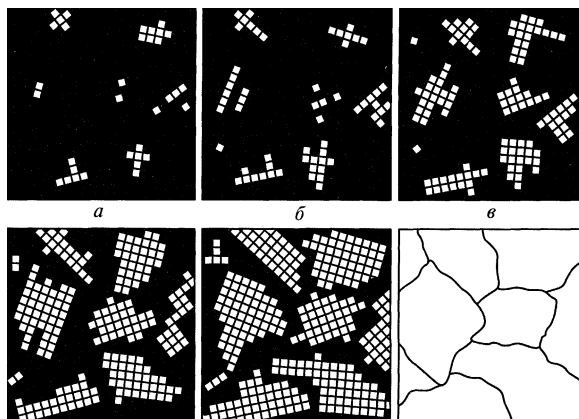


Рисунок 2 Схема процесса кристаллизации: *а — е* — этапы кристаллизации

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°С.

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.

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 внедрением 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.

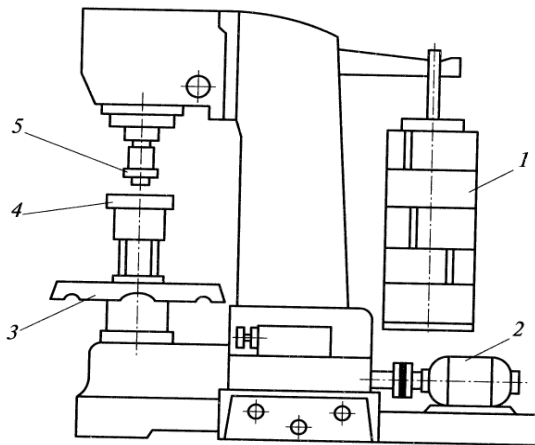


Рисунок 3

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. 3). **Число твердости** НВ, кгс/мм², — это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле

$$НВ = \frac{2P}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]},$$

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.

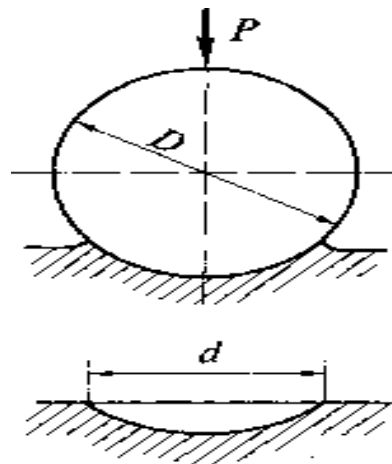


Рис. 4. Схема определения твердости по Бринеллю: P — нагрузка

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 Ш (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.

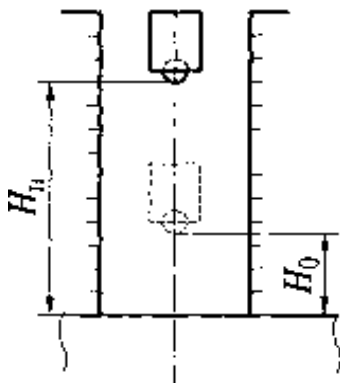
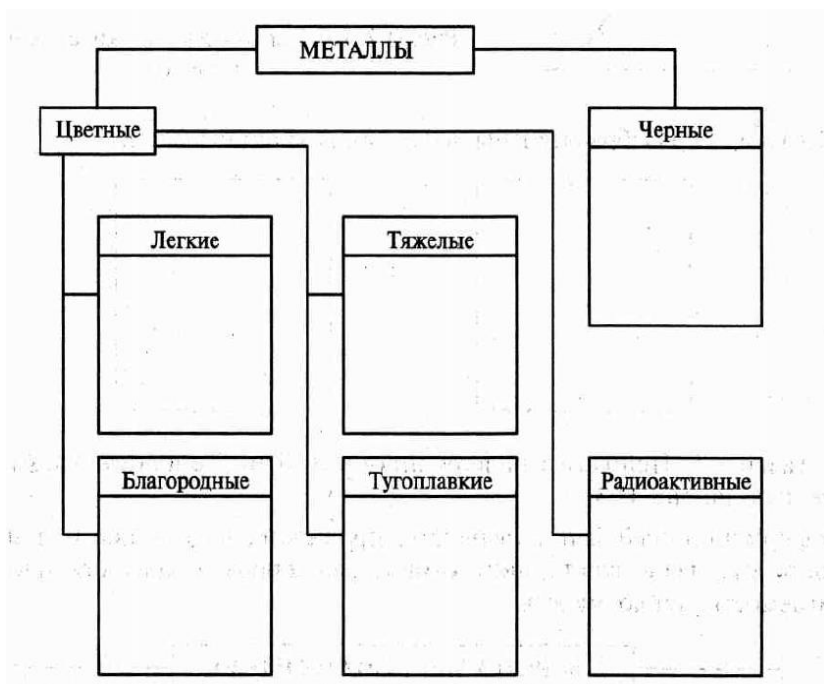
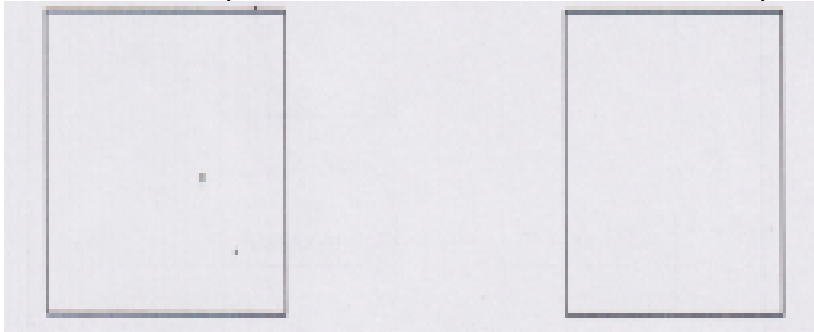


Рис. 5. Измерение твердости по Шору

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.

Задание 5.

Почему определение твердости получило наибольшее распространение в промышленности?

Перечислите методы испытаний металлов и сплавов на твердость. На основании чего применяется тот или иной метод?

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.

Решение.

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:
$$HB = P / A = 2P / \pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$
, где
 P – прилагаемая нагрузка;
 D и d соответственно диаметр шарика и диаметр отпечатка
6. Вычислим твердость:
$$HB = 2 \cdot 900 / (3,14 \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 3^2})) = 124,39$$
.
7. Запишем полученный ответ: твердость – 124,39 НВ.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение материаловедению.
2. Опишите кристаллическое строение металлов.
3. Охарактеризуйте наиболее типичные для металлов типы кристаллических решеток.
4. Чем объясняется выделение скрытой теплоты при кристаллизации?
5. Опишите механические свойства металлов.