

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

1. Научиться измерять твердость металлических образцов различными методами.
2. Ознакомиться с условиями применения того или иного метода определения твердости; подготовкой образцов для измерения твердости; устройством приборов для измерения твердости.
3. Проследить зависимость твердости металлов от состава сплавов.

Теоретическое введение

При проектировании и производстве машин, механизмов, инструментов те или иные детали должны обладать определенными механическими свойствами. Механические свойства металлов характеризуют сопротивление материала деформации и разрушению под действием внешних нагрузок. Практически все методы определения механических свойств являются разрушающими. Для проведения испытаний необходимы специальные машины, процессы испытания довольно длительны, особенно если учесть весьма продолжительный процесс изготовления специальных образцов.

Механические и физические свойства зависят от многих факторов: от состава материала, вида обработки (пластической деформации, термической обработки). Поэтому в процессе изготовления тех или иных деталей необходимо контролировать свойства, особенно механические. Обычные методы испытания механических свойств не могут быть использованы на промежуточных стадиях изготовления деталей вследствие длительности и дороговизны изготовления образцов, длительности самого процесса испытания. В этом случае пользуются методами определения твердости.

Твердость имеет большое практическое значение, так как она отражает многие рабочие свойства материала, например, сопротивляемость истиранию, режущие свойства, способность обрабатываться шлифованием или резанием, выдерживать местные давления и т.д. Кроме того, по твердости можно судить о других механических свойствах, например, о прочности на разрыв. Следовательно, между твердостью и другими свойствами материалов существует определенная связь, подтверждаемая практикой.

Широкое распространение испытаний материалов на твердость объясняется следующим:

- не требуется изготовления специальных образцов,
- простотой методики испытаний;
- возможность осуществления непосредственно на готовой детали без ее разрушения.

Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания в испытуемый материал твердых тел (закаленного шарика, алмазного конуса или алмазной пирамидки) и последующего измерения размеров отпечатка. Поэтому твердость часто определяют, как способность материала сопротивляться внедрению в него другого тела. Однако такое определение является общим, так как существуют и другие методы определения твердости, основанные не на вдавливании, а на царапании, качании маятника, динамическом методе и других принципах.

Наиболее широко практикуются испытания твердости по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу и метод определения микротвердости. Во всех перечисленных методах при вдавливании индентора происходит пластическая деформация испытуемого материала под индентором. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем на меньшую глубину проникает индентор и тем выше твердость.

По Бринеллю определяют твердость относительно мягких материалов: цветных металлов и их сплавов, отожженной стали, чугунов (кроме белого).

По Роквеллу чаще всего определяют твердость очень твердых материалов: закаленных сталей, твердых сплавов, керамики, твердых покрытий, в том числе наплавленных слоев достаточной глубины на сталях и чугунах. Но на приборе Роквелла можно определять твердость и сравнительно мягких материалов.

Метод Виккерса используется для испытания твердости деталей малой толщины или тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Реже этот метод применяется для измерения твердости твердых и мягких материалов.

Методом микротвердости обычно измеряется твердость в пределах отдельных зерен или очень тонких слоев. Два последних метода чаще всего используют в исследовательских работах.

Твердость по методу Бринелля.

Метод первопроходец, разработанный инженером из Швеции Августом Бринеллем. Его метод стал первым стандартизированным и широко используемым. Шкалу Бринелля мир «взял на вооружение» в 1900-ом году.



Юхан Август Бринелль

Определение твердости по Бринеллю основано на вдавливании в испытуемый материал стального шарика и последующего измерения диаметра отпечатка (рис. 1.).

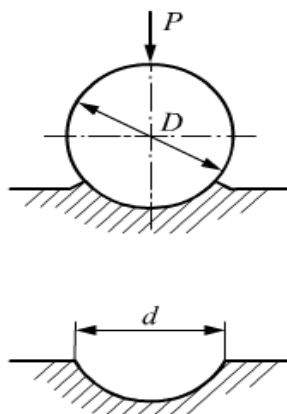


Рис. 1. Измерение диаметра отпечатка

Твердость по Бринеллю (НВ) выражается отношением взятой нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

$$HB = \frac{P}{F}$$

Если вычислить поверхность отпечатка, имеющего форму шарового сегмента, то НВ определится формулой

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

где P – приложенная нагрузка, кгс;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка.

Размер шарика выбирается в зависимости от толщины испытуемого образца: обычно используются шарики стандартных размеров диаметрами в 10 мм, 5 мм или 2,5 мм.

Нагрузка на шарик выбирается в зависимости от рода материала и должна быть пропорциональна квадрату диаметра шарика. Условные стандартные нормы, принятые для различных материалов, следующие:

для стали и чугуна $P = 30 \cdot D^2$,

для меди и медных сплавов $P = 10 \cdot D^2$,

для баббитов и свинцовых бронз $P = 2,5 \cdot D^2$.

Кроме того, нагрузка считается выбранной правильно, если выдерживается соотношение $0,2 \cdot D < d < 0,6 \cdot D$.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы Бринелля или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют как среднее арифметическое из двух измерений. По результатам измерения диаметра отпечатка твердость по Бринеллю определяется по формуле (2) или по таблице определения чисел твердости по Бринеллю (таблица приведена в приложении).

Между пределом прочности σ_B и твердостью по Бринеллю существует зависимость, которая выражается эмпирической формулой:

$$\sigma_B = \frac{10 \cdot (HB - 40)}{6} [\text{МПа}].$$

Метод Бринелля не рекомендуется применять для материалов с твердостью более 450 HB, так как стальной шарик может заметно деформироваться, что внесет погрешность в результаты испытаний. Временное сопротивление и число твердости по Бринеллю связаны между собой следующими соотношениями: для стали $\sigma_B = 0,34 \text{ HB}$, для медных сплавов $\sigma_B = 0,45 \text{ HB}$, для алюминиевых сплавов $\sigma_B = 0,35 \text{ HB}$.

Твердость по методу Роквелла. Определение по Роквеллу основано на вдавливании в исследуемый материал алмазного конуса с углом в вершине 120° (шкалы А и С) и последующим измерением глубины вдавливания h (рис. 3) или стального шарика диаметром 1,5875 мм (шкала В).

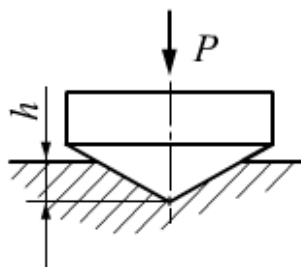


Рис. 3. Измерение глубины вдавливания алмазной пирамидки

Твердость по Роквеллу выражается отвлеченной величиной, зависящей от глубины вдавливания h , и может быть определена по формуле, но в этом нет необходимости, так как твердость определяется по показаниям прибора.

Метод Роквелла позволяет проводить испытания деталей после поверхностного упрочнения и объемной закалки. Определение твердости данным методом практически не связано с порчей поверхности испытуемого изделия.

Шкала С служит для испытания материалов, имеющих твердость по Бринеллю от 230 до 700 кгс/мм². Алмазный конус вдавливается под нагрузкой 150 кгс. Интервал измерения твердости по шкале С – от 22 до 68 единиц, твердость обозначается *HRC*.

Шкала А используется при испытании очень твердых материалов или тонких поверхностных слоев (0,5...1,0 мм). Применяют тот же алмазный конус, но вдавливают под нагрузкой в 60 кгс. Значение твердости определяют по шкале С, но обозначают *HRA*. Интервал измерения твердости по этой шкале от 70 до 85 единиц.

Шкала В предназначена для мягких материалов, имеющих твердость по Бринеллю от 60 до 230 кгс/мм². Стальной шарик диаметром 1,5875 мм вдавливается под нагрузкой в 100 кгс. Твердость измеряется в пределах от 25 до 100 единиц шкалы В и обозначается *HRB*.

Твердость по Виккерсу. Метод заключается во вдавливании алмазного наконечника, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды, в образец или изделие под давлением P и измерении диагонали отпечатка d , оставшегося после снятия нагрузки (рис. 4).

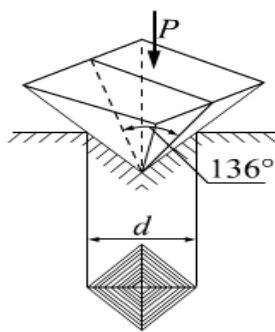


Рис. 4. Измерение диагонали отпечатка

Нагрузка P может меняться от 9,8 (1 кгс) до 980 Н (100 кгс). Твердость по Виккерсу

$$HV = 0,189 \frac{P}{d^2} [\text{МПа}],$$

если P выражена в Н, и

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} [\text{кгс/мм}^2],$$

Если P выражена в кгс.

Метод используется для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.

Микротвердость. Определение микротвердости (твердости в микроскопически малых объемах) необходимо для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов (рис.5). Прибор для определения микротвердости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05 – 5,00 Н. Твердость H определяют по той же формуле, что и твердость по Виккерсу:

$$H = 0,189 \frac{P}{d^2} [\text{МПа}],$$

если P выражена в Н (ньютон).

Особенности применения различных методов измерения твердости представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Особенности различных методов измерения твердости

Методы	Способ измерения	Форма индентора	Нагружение Р, Н	Шероховатость поверхности, мкм
Бринелля	По диаметру отпечатка	Стальной шарик	Статическое 24,5-29430	1,25 – 2,5
Роквелла	По глубине вдавливания	Алмазный конусный наконечник или стальной шариковый	Статическое 490,3-1373	0,38 - 2,5
Виккерса	По диагонали отпечатка или по глубине вдавливания	Алмазный наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды	Статическое 9,807-980,7	0,02 - 0,04
Людвика	По диаметру отпечатка	Победитовый конус	Статическое 20000	
Шора (Монотрона)	По заданной глубине отпечатка	Алмазный или стальной наконечник	Статическое	0,63 - 1,25
Мартенса	По ширине царапины	Алмазный конус или пирамида	Динамическое	

Порядок выполнения работы

Получив у преподавателя задание (название материала или образца, значения диаметров отпечатков шарика) рассчитать твердость по Бринеллю и предел прочности. Результаты расчетов внести в таблицу 3.1. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы по работе.

Таблица 3.2. Определение твердости и предела прочности материалов

Материал	Нагрузка, кгс	Диаметр шарика (D), мм	Диаметр отпечатка, (d), мм	Твердость, (HB)	Предел прочности (σ), МПа
1.					
2.					
3.					
4.					

Таблица 3.3. Исходные данные

№ варианта	1. Чугун	$d_{отп},$ мм ($D_{ш}=10$ мм, $P=30D$)	2. Дерево	$d_{отп},$ мм (P=100 кгс)	3. Сплавы	$d_{отп},$ мм	P, кгс	4. Металлы	$d_{отп},$ мм	P, кгс
1	ВЧ 38-17	3,5	акация	4,0	2014-T6	3,7	500	Ti	4,75	3000
2	ВЧ 42-12	3,3	бамбук	5,4	6061-T6	4,3	500	Fe	3,95	1000
3	ВЧ 45-5	3,1	бук	5,5	7005-T6	3,8	500	Mg	5,7	1000
4	ВЧ 50-7	3,0	клен	4,1	7075-T6	3,5	500	Cu	5,4	1000
5	ВЧ 50-2	2,9	олива	5,9	18X2H4BP	3,7	3000	Zn	3,05	250
6	ВЧ 60-2	2,7	палисандр	5,0	неупрочненный алюминий	4,45	3000	Al	3,9	250
7	ВЧ 70-2	2,5	орех	3,5	упрочненный алюминий	3,5	1000	Ag	3,5	250
8	ВЧ 80-2	2,4	вишня	3,3	свинцовая бронза	3,35	1000	Au	4,1	250
9	ВЧ 100-2	2,3	береза	2,6	латунь	3,69	1000	Sn	4,9	100
10	ВЧ 120-2	2,1	дуб (P=50)	3,9	электролитическая медь	3,52	1000	Pb	5,4	100