

16 Определение твёрдости металлов

Цель работы

1. Ознакомление с приборами и методами измерения твёрдости.
2. Определение твёрдости по Бринеллю.

Основные теоретические положения

Твёрдость — есть свойство материала оказывать сопротивление пластическому деформированию или разрушению в поверхностном слое при местных контактных воздействиях или, иначе говоря, свойство материала сопротивляться проникновению в него других тел. Твёрдость не является физической постоянной, а представляет собой сложную характеристику, зависящую как от прочности и пластичности материала, так и от метода её измерения.

Методы измерения твёрдости делятся на статические и динамические. К первым относятся методы вдавливания стандартного наконечника. Твёрдость характеризуется числом твёрдости H (от англ. hardness — твёрдость), которое определяется как отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка, или как глубина отпечатка при постоянной силе вдавливания. Отпечаток обычно производят шариком из закалённой стали (метод Роквелла) или алмазной пирамидой (метод Виккарса). При определении твёрдости по методу царапания за меру твёрдости принимается ширина царапины при постоянной нагрузке, при которой получается определённая ширина царапины.

К динамическим методам относятся: метод ударного отпечатка (мерой твёрдости служит диаметр отпечатка на образце, который сравнивается с диаметром отпечатка на эталоне); метод упругого отскока (метод Шора, мерой твёрдости является высота отскока бойка); метод измерения твёрдости с помощью ультразвуковых колебаний, в основе которого лежит измерение реакции колебательной системы (изменения её собственной частоты) на твёрдость испытываемого материала.

Выбор метода определения твёрдости зависит от исследуемого материала, размеров и формы образца или изделия и других факторов. Испытания на

твёрдость получили весьма широкое распространение, что объясняется следующими причинами:

а) испытание проводится быстро и на удобном портативном оборудовании;
б) испытанию могут быть подвергнуты не только образцы, но и, что особенно важно, готовые детали, главным образом термически обработанные. Небольшая вмятина от шарика, призмы или конуса обычно не сказывается на дальнейшей эксплуатации;

в) наконец, по твёрдости можно судить о некоторых других механических характеристиках материала, например, о пределе прочности.

Одним из наиболее распространённых в настоящее время является метод измерения твёрдости по Бринеллю: шарик диаметром D вдавливается в испытуемый материал и оставляет на его поверхности отпечаток диаметра d (см. рисунок 30).

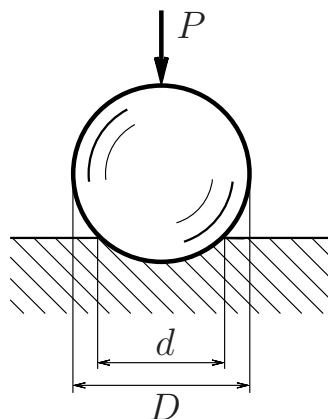


Рис. 30: Индентирование образца шариком

Мерой твёрдости является отношение

$$H_B = \frac{P}{F},$$

где P — сила, с которой шарик вдавливается в образец, F — площадь поверхности сферического отпечатка после снятия нагрузки. Так как,

$$F = \frac{\pi D^2}{2} (1 - \sqrt{1 - d^2/D^2})$$

и, следовательно

$$H_B = \frac{P}{D^2} \left[\frac{2}{\pi(1 - \sqrt{1 - d^2/D^2})} \right].$$

Одинаковые значения H_B при испытании одного и того же материала шариками разного диаметра могут получаться только при условии:

$$\frac{P}{D^2} = k = const, \quad \frac{d}{D} = const.$$

Величина k при P в кг и D в мм принимается равной 30 для чёрных металлов, 10 для цветных металлов и 2,5 для очень мягких металлов.

К недостаткам испытаний на твёрдость по Бринеллю следует отнести невозможность измерения твёрдости очень твёрдых ($H_B > 450$), а также очень мягких ($H_B < 8$) материалов. Если твёрдость испытываемого материала будет очень велика, диаметр отпечатка получится таким маленьким и края его будут столь нечёткими вследствие микронеровностей поверхности и деформации самого шарика, что измерить его будет невозможно. В мягкие же материалы шарик погрузится очень глубоко, диаметр отпечатка будет близок к диаметру шарика, и таким образом диаметр отпечатка перестанет служить критерием при оценке твёрдости. Поэтому ГОСТ 9012–59 устанавливает изменение диаметра отпечатка в пределах $0,2D \leq d \leq 0,6D$.

Твёрдость антифрикционных и некоторых алюминиевых сплавов в результате ползучести уменьшается с увеличением времени выдержки испытуемого образца под нагрузкой; твёрдость стали при этих условиях заметно не меняется. В силу этого, время выдержки под нагрузкой обычно принимают 10 – 60 с.

Диаметр шарика выбирается в зависимости от толщины объекта испытаний, чем тоньше будет деталь в месте испытаний, тем меньше должен быть диаметр шарика. На практике используются шарики со следующими значениями диаметра $D = 10; 5; 2,5$ мм.

При выборе диаметра шарика D , нагрузки P , продолжительности выдержки под нагрузкой и минимальной толщины испытываемого образца следует руководствоваться ГОСТ 9012-59 [20].

Пользуясь числом твёрдости Бринелля, можно без разрушения образца

получить приближённое значение предела прочности некоторых металлов, так как между пределом прочности при растяжении и твёрдостью по Бринеллю H_B существует приблизительно прямолинейная зависимость, установленная экспериментально и подтверждённая теоретически [20] для модели идеально-пластического тела.

Так приблизительно можно принять:

для углеродистой стали $\sigma_B \approx 0,36H_B$;

для хромоникелевой стали $\sigma_B \approx 0,34H_B$;

для серого чугуна $\sigma_B \approx \frac{1}{6}(H_B - 40)$;

для литья из цинковых сплавов $\sigma_B \approx 0,09H_B$

для стального литья $\sigma_B \approx (0,3 \div 0,4)H_B$.

Принцип работы установки

На рисунке 31 представлена схема твёрдомера типа «ТП». Перед испытанием прибор должен быть взведён рукояткой 1.

Образец помещается на предметный столик 2, и вращением маховичка 3 доводится до соприкосновения с торцом чехла оправки 4. Стержень 5 передаёт нагрузку на шарик от рычага 6, к которому при помощи стержня 7 подвешены грузы 8. Грузовой привод включается нажимом на педаль пускового рычага 9.

Под действием груза 10 втулка 11 и опирающийся на неё стержень 12 опускается, освобождая рычаг 5, и нагрузка плавно передаётся на шарик. Одновременно тяга 13 начнёт поднимать рычаг 14 навстречу стержню 12. Дальнейшее опускание втулки 11 продолжит подъём рычага 14 и стержня 12, который к концу хода масляного амортизатора придёт в начальное положение и снимет нагрузку. Такое устройство способствует опусканию и подъёму груза без толчков. В течение выдержки образца под нагрузкой горит сигнальная лампочка 15, включаемая контактом 16, установленным на стержне 12. Поворотом маховичка 3 опускают столик 2 так, чтобы не было касания шарика к образцу, и поворотом головки за ручку 17 подводят окуляр микроскопа к отпечатку и измеряют его диаметр.



Под руководством сотрудника лаборатории установить образец на предметный столик 2 (см. рисунок 31). Испытуемая поверхность должна быть чистой, без раковин и глубоких царапин. Параметры эксперимента указаны в таблице 14 для двух классов материалов.

Вращение маховичка 3 подвести изделие до соприкосновения с торцом чехла оправки 4.

Затем нужно нажать педаль пуска механизма грузового привода 9, после чего прибор автоматически проведёт испытание.

В момент приложения полной нагрузки сигнальная лампочка 15 загорается, а по прошествии установленной заранее продолжительности выдержки

Таблица 14: Значения параметров эксперимента для различных типов материала

Материал	Соотношение между P (кг) и диаметром шарика D (мм)	Диаметр шарика D (мм)	Нагрузка P (кг)	Выдержка под нагрузкой (с)
1. Стальные сплавы, цветные материалы (медь, латунь, бронза, др.) $H_B > 35$	$P = 10D^2$	2,5	62,5	30
2. Цветные металлы и сплавы (алюминий, подшипниковые сплавы) $H_B < 35$	$P = 2,5D^2$	2,5	15,6	60

изделия под полной нагрузкой сигнальная лампочка гаснет, и цикл испытания оказывается завершённым.

Поворотом маховичка 3 отводят изделие от соприкосновения с чехлом оправки и поворотом головки за ручку 17 (и только за ручку!) совмещают объектив микроскопа с отпечатком.

Измерение диаметра отпечатка производится в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи двух штрихов, которые перемещаются вращением винтов, находящихся на головке микроскопа. Отчёт производится с помощью микрометрического винта, одно деление которого на лимбе соответствует микрону. За величину диаметра принимается среднее арифметическое из этих двух измерений.

Закончив измерение отпечатка, следует перевести поворотную головку в первоначальное положение, после чего можно проводить следующее испытание.

Испытание считается проведённым верно, если выполнены следующие условия:

а) минимальная толщина испытуемого образца должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка. На обратной стороне испытуемого образца не должно быть заметно следов деформации;

б) расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее, а расстояние между центрами двух соседних отпечатков — не менее $4d$. Для металлов с $H_B < 35$ соответственно $3d$ и $6d$; в) диаметры отпечатков d должны находиться в пределах $0,2D \leq d \leq 0,6D$;

г) разность измерений диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях одного отпечатка не должна принимать 2% меньшего из них.

Образцы для испытания выдаются преподавателем. Предлагается также определить твёрдость двух половинок разорванного при испытании на растяжение стального образца, при этом на головках разорванных частей должны быть зачищены площадки для испытания.

Испытания проводятся в трёх точках каждого образца. Результаты работы записываются в журнал измерений (таблица 15).

Отчёт о проделанной работе

Отчёт о проделанной работе должен содержать следующие сведения:

- цель работы;
- расчётные формулы;
- журнал измерений (материал, толщина образца, диаметр шарика, нагрузка, диаметр отпечатка, время под нагрузкой, которые вносятся в таблицу 15);
- обработка результатов (расчёты числа твёрдости и его среднего значения, отношение σ_B/H_B , занесённые в таблицу 15, сравнение с известными данными);
- выводы.

Таблица 15: Журнал измерений

Материал	Толщина образца (мм)	Диаметр шарика D (мм)	Нагрузка P (кгс)	Номер отпечатка	Диаметр отпечатка (мм)			Число твёрдости H_V	Среднее значение H_V	σ_V/H_V	Время под нагрузкой (с)
					d_1	d_2	d_{cp}				

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое твёрдость?
2. Как определяется твёрдость?
3. В чём преимущество определения предела прочности материала, исходя из определения твёрдости, перед непосредственным исследованием прочности при растяжении?
4. Как проводятся испытания на твёрдость по Бринеллю?
5. Что такое число твёрдости по Бринеллю и какова его размерность?
6. Чем и как измеряется диаметр отпечатка?
7. Какова связь между диаметром отпечатка и числом твёрдости по Бринеллю?
8. Как выбрать диаметр шарика и величину нагрузки при испытаниях на твёрдость по Бринеллю?
9. Какие ограничения накладываются на выполнение эксперимента при испытании на твёрдость по Бринеллю?
10. Какие ещё существуют методы измерения твёрдости, и чем определяется твёрдость в этих методах?