

Методические указания к лабораторной работе № 7

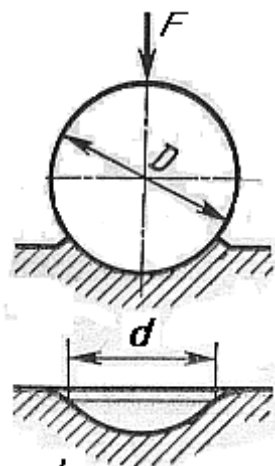
Определение твёрдости материалов

Цель работы: Ознакомиться с методами определения твёрдости материалов. Экспериментально определить значения твёрдости образцов металлов и пластмасс.

Методы измерения

В разных методах и при различных условиях испытания числа твердости могут характеризовать сопротивление малым и большим пластическим деформациям, сопротивление материала разрушению. Наибольшее распространение при определении твердости материалов получили статические методы. Статическим методом измерения твердости называется такой, при котором индентор (конус или шарик) медленно и непрерывно, с определенным усилием вдавливается в поверхность испытуемого материала. В результате возникает местная деформация материала, имеющая упругую и пластическую составляющие. Для определения твёрдости материала имеет значение лишь пластическая деформация. К статическим методам относят измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

Твердость по методу Бринелля [ГОСТ 90123-59]



измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра D под действием заданной нагрузки F в течение определенного времени (рис. 1). В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое HB (HBW), представляет собой отношение нагрузки F , измеряемой в $кгс^1$, к площади поверхности сферического отпечатка A , измеряемой в $мм^2$:

Рис. 1.

Определение
твердости по
Бринеллю

¹ $кгс$ – это «килограмм силы» - внесистемная (которую использовали до введения системы СИ) единица измерения силы. Сила в $1кгс$ – эта сила давления на образец массы в $1 кг$ в земных условиях. Единица силы, принятая в системе СИ – Ньютон = $0,102 кгс$

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

Твёрдость в МПа определится как: (1)

$$HB = 9,81 \frac{F(\text{кгс})}{A(\text{мм}^2)}$$

При этом площадь шарового сегмента составит, мм²:

$$A = \pi D h, \quad (2)$$

где D – диаметр шарика, мм; h – глубина отпечатка, мм.

Поскольку гораздо проще измерить диаметр отпечатка d , чем его глубину, то h можно выразить следующим образом, мм:

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

Для измерений твердости по Бринеллю применяют стальные шарики твердостью не менее 850 HV_{10} или шарики из твердого сплава твердостью не менее 1500 HV_{10} , диаметрами $1; 2; 2.5; 5; 10\text{ мм}$. Диаметр шарика D и соответствующее усилие F выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах:

$$0,24D \leq d \leq 0,6D \quad (4)$$

Если отпечаток на образце получается меньше или больше допустимого значения d , то нужно увеличить или уменьшить усилие F и произвести испытание снова. Так же следует учитывать, что испытываемые образцы должны иметь толщину не менее десятикратной глубины отпечатка h , а расстояния между центрами соседних отпечатков и между центром отпечатков и краем образца должно быть не менее $4d$. Для исключения ошибок, связанных с возможной деформацией шарика, методом Бринелля испытывают материалы с твердостью, не превышающей 450 HB . В общем случае диаметр шарика и нагрузку можно выбрать по таблице 2:

Условия испытания металлов на твердость по Бринеллю

Металлы	Твердость $HB, \frac{кгс}{мм^2}$	Толщина образца	Соотношени е между F и D^2	Диаметр шарика D , $мм$	Нагрузка F , $кгс$	Выдержка под нагрузкой, $с$
Черные	140 - 450	6 - 3	$F = 30 D^2$	10	3000	10
		4 - 2		5	750	
		< 2		2,5	187,5	
Черные	140	> 6	$F = 10 D^2$	10	1000	10
		6 - 3		5	250	
		> 3		2,5	62,5	
Цветные	130	6 - 3	$F = 30 D^2$	10	3000	30
		4 - 2		5	750	
		< 2		2,5	187,5	
Цветные	35 - 130	9 - 3	$F = 10 D^2$	10	1000	30
		6 - 3		5	250	
		2 - 3		2,5	62,5	
Цветные	8 - 35	> 6	$F = 2,5 D^2$	10	250	60
		6 - 3		5	62,5	
		> 3		2,5	15,6	

Число твердости по Бринеллю, измеренное при стандартном испытании ($D = 10 \text{ мм}$, $P = 3000 \text{ кгс}$, $t = 10 - 15 \text{ с}$), записывается так: 350 HB – для стального шарика и 350 HBW – для шарика из твердого сплава. Если испытания проведены при других условиях, то запись будет иметь следующий вид: 200 HB 5/250/30, что означает: число твердости 200 получено при испытании стальным шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 250 кгс и длительности нагрузки 30 с. Для определения твёрдости в МПа (система СИ) следует умножить число, стоящее перед буквами HB, на 9,81

Твердость по методу Роквелла [ГОСТ 9013-59] измеряют внедрением в испытуемый образец алмазного конуса или стального закаленного шарика.

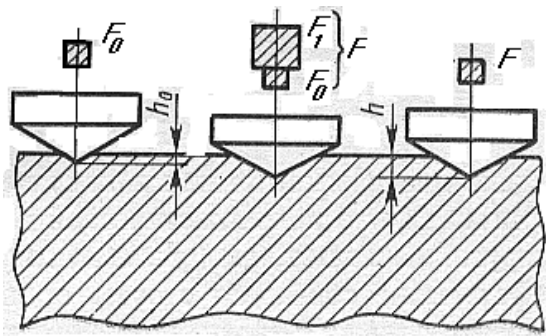


Рис. 2. К измерению твёрдости по Роквеллу

Однако в отличие от метода Бринелля измеряется не площадь отпечатка а его глубина. Нагрузка прикладывается к образцу в два этапа (рис. 2).

На первом этапе прикладывается предварительная нагрузка в $F_0 = 10 \text{ кгс}$, необходимая для двух целей:

- достичь остриём конуса основного материала, пройдя загрязнённый и окисленный поверхностный слой;
- определить качество образца (искривлённость) и качество его поверхности в месте приложения индентора (микровпадины и микротрещины).

Затем на определенное время прикладывается основная нагрузка F_1 при этом полная нагрузка внедрения индентора в испытуемый материал составляет $F = F_0 + F_1$. После снятия основной нагрузки F_1 определяется глубина отпечатка h . Значением же твердости по Роквеллу является разность $h_0 - h$, которая определяется инструментально в процессе измерения, и считывается по шкале прибора. Это заметно упрощает процесс измерения в сравнении с методом Бринелля. Шкалу испытания (A , B или C) и соответствующие ей условия испытания (вид наконечника, общее усилие) выбирают в зависимости от предполагаемого интервала твердости испытуемого материала по таблице 3:

Выбор нагрузки и наконечника для испытания твердости по Роквеллу

Примерная твердость по Виккерсу <i>HV</i>	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, <i>кгс</i>	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
60 – 240	<i>B</i>	Стальной шарик	100	<i>HRB</i>	25 – 100
240 – 900	<i>C</i>	Алмазный конус	150	<i>HRC</i>	20 – 67
390 – 900	<i>A</i>	То же	60	<i>HRA</i>	70 – 85

При измерении твердости по методу 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 между отпечатками должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4 мм при вдавливании шарика.

Число твердости по Роквеллу не имеет единиц измерения. Запись числа твердости по Роквеллу выглядит следующим образом: 350 *HRC* и означает, что значение 350 было получено по шкале *C* при вдавливании в материал алмазного конуса с усилием 150 *кгс*.

Описание лабораторных установок

Испытания **твердости материалов по методу Бринелля** осуществляют на специальном прессе (прибор типа ТШ - рис. 3), в следующей последовательности:

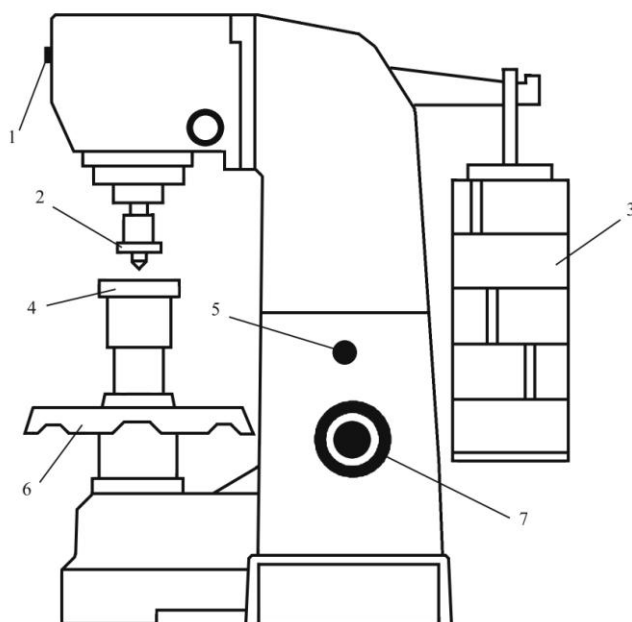


Рис. 3 Прибор для измерения твердости по методу Бринелля

В соответствии с таблицей 2 выбирается и устанавливается нагрузка 3. Значения нагрузки в кгс указаны на дисках 3. Испытываемый образец устанавливают на столике 4 шлифованной поверхностью кверху. Поворотом маховика 6 по часовой стрелке столик прибора поднимают так, чтобы шарик 2 мог вдавиться в испытываемую поверхность. Маховик 6 вращают до упора, и нажатием кнопки 5 включают электродвигатель. Двигатель перемещает коромысло и постепенно нагружает шток с закрепленным в нем шариком. Шарик под действием нагрузки 3, сообщаемой приведенным к коромыслу грузом, вдавливается в испытываемый материал. Нагрузка действует в течение определенного времени ($10...60$ с), задаваемого реле времени 7, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно перемещает коромысло и снимает нагрузку. Во время действия на испытуемый образец нагрузки, загорается контрольная лампа 1, длительность свечения которой равна длительности приложения нагрузки. После автоматического выключения двигателя, поворачивая маховик 6 против часовой стрелки, опускают столик прибора и снимают образец. Диаметр отпечатка измеряют при помощи специальной линейки.

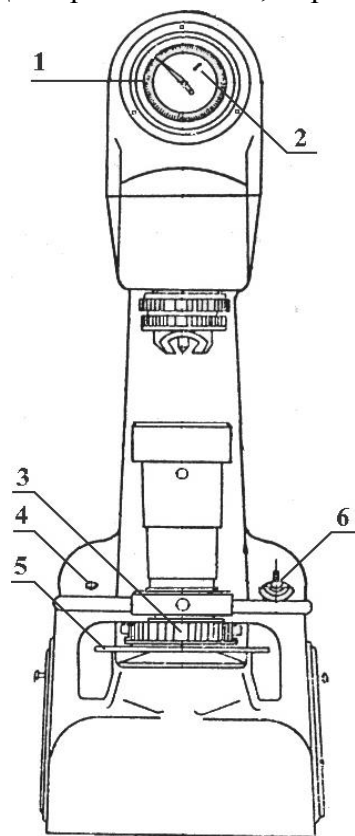


Рис. 4 Прибор для измерения твердости по методу Роквелла

Для измерения твердости по методу Роквелла используется прибор типа ТК-4 (рис. 4). Электродвигатель и механизм прибора позволяет плавно прикладывать нагрузку в течение 4 с. Для включения прибора служит тумблер 6, при этом загорается лампа 4. Далее образец для измерений, кладут на измерительный стол и вращением барабана 3 совмещают нуль шкалы с большой стрелкой индикатора 1. После этого образец вместе со столиком, на котором он находится, путем ручного вращения винта по часовой стрелке поджимают к индентору с силой 10 кгс.

Признаком указанной нагрузки является установление маленькой стрелки шкалы индикатора на красной точке. При этом большая стрелка индикатора не должна отклоняться от нуля более чем на 5 делений. Если это отклонение больше, значит образец пружинит

или индентор попал на неровность поверхности. При этом нужно опустить стол и начать испытание на новом месте. Затем большую стрелку совмещают с нулем шкалы путем вращения барабана 3. После этого нажатием клавиши 5 дают основную нагрузку в 150 кгс. Дождавшись окончания работы прибора (примерно 4 с после нажатия на клавишу 5) считывают показания по выбранной шкале. Стрелка индикатора показывает теперь разность между глубиной вдавливания под действием основной нагрузки (после снятия этой нагрузки) и предварительной нагрузкой (при действии этой нагрузки). После снятия показаний опускают столик с образцом, путем вращения винта против часовой стрелки.

Методические указания

Для испытаний представлено несколько образцов материалов. Необходимо определить наименования этих материалов и предварительно выяснить предполагаемую твердость по справочным данным. Далее необходимо произвести измерения твердости по методу Бринелля на каждом образце не менее 3-х раз. Записать полученные результаты в таблицу и вычислить среднее значение для каждого образца. Произвести измерения твердости по методу Роквелла на каждом образце не менее 6-ти раз. Занести полученные результаты в таблицу и вычислить среднее значение для каждого образца, отбросив при этом максимальное и минимальное значения из серии. Сравнить полученные разными методами средние значения твердости. Если имеются расхождения – обосновать их. Сравнить полученные значения твердости со справочными. Если имеются расхождения – обосновать их.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятия «твёрдость».
2. Какие методы определения твердости Вы знаете?
3. Чем отличается определение твердости по Бринеллю и по Роквеллу?
4. Опишите процесс измерения твёрдости материалов по Бринеллю.
5. Опишите процесс измерения твёрдости материалов по Роквеллу.
6. Какую роль в процессе измерений играет упругая деформация?
7. Каким образом неровности поверхности материала влияют на показания прибора и почему?
8. Объясните необходимость предварительной нагрузки в 10 кгс (метод Роквелла).
9. Что будет, если для сглаживания неровностей образца между ним и измерительным столом поместить мягкую прокладку?
10. Каким значением в методе Бринелля ограничена измеряемая твердость и почему?

11. Из каких условий выбирается диаметр шарика при испытании на твёрдость по Бринеллю?
12. Пример записи твердости по Бринеллю.
13. При замере какой твердости снимается отсчет показаний по шкалам А, С, В?
14. Пример формы записи твердости по Роквеллу?
15. Почему у стали обыкновенного качества твердость может быть ниже, чем у пластмассы?
16. Чем интересен титан как конструкционный материал?