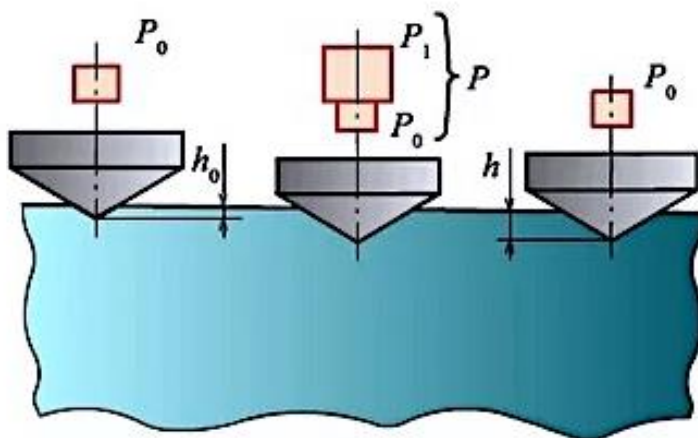


ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические рекомендации



**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-
педагогический университет»

**ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Методические рекомендации

**Челябинск
2022**

УДК 621.8 (07)(021)

ББК 34.44я73

И 37

Измерение твёрдости металлов и сплавов: методические рекомендации сост. В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2022. – 30 с. – Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-907611-31-3

Методические рекомендации посвящены описанию наиболее распространённых методов измерения твёрдости металлов и сплавов применительно к деталям узлов и механизмов автомобильного транспорта. Включают общие и специфические сведения о методах измерения твёрдости металлов и сплавов по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу, рассматриваются особенности этих методов с примерами расчёта твёрдости испытуемых деталей.

Адресованы студентам, обучающимся по программе бакалавриата направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р техн. наук, доцент
К.Н. Семендяев, канд. техн. наук

ISBN 978-5-907611-31-3

© В.А. Белевитин, составление, 2022

© Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Твёрдость как характеристика свойств конструкционного материала.....	6
2. Методы определения макротвёрдости конструкционного материала.....	9
2.1. Методы измерения твёрдости при статическом нагружении.....	11
2.2. Определение твёрдости по Бринеллю.....	12
2.3. Определение твёрдости по Роквеллу	19
2.4. Определение твёрдости по Виккерсу	26
Контрольные вопросы	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	29

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее распространённых характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при эксплуатационных условиях работы, является твёрдость.

Производственные процессы, осуществляемые при изготовлении, эксплуатации и ремонте автотранспортных средств, их несовершенства и различные технико-технологические нарушения влияют на появление отказов узлов и механизмов автотранспортных средств. На стадии изготовления и проектирования изделий (деталей), их узлов и механизмов возможны просчеты проектировщиков; использование недоброкачественного материала как результата несовершенств металлургического производства; проявление технико-технологических нарушений процессов термо- и металлообработки, сборки.

Для оценки пригодности металлопродукции на различных технологических этапах производства применяется контроль твёрдости – эффективного, а в ряде случаев и единственно возможного средства предотвращения нарушений гарантированно-безопасной эксплуатации подвижного состава автотранспортных средств.

Цель методических рекомендаций – способствовать процессу полного и глубокого освоения студентами наиболее распространённых методов контроля физико-механических характеристик изделий применительно к деталям автомобильного транспорта как одной из важ-

нейших компонентов профессиональных компетенций выпускника современной образовательной организации. Залогом достижения успеха в повышении качества формирования профессиональных компетенций выпускника современной образовательной организации является комбинированный интегрально-дифференциальный подход. При подготовке методических рекомендаций к их использованию на современном этапе трансформации образования необходимо предусматривать применение инновационных технологий в процессе выполнения практических занятий, доле которых отведён значительный объём зачётных единиц в ФГОС 3++.

1. Твёрдость как характеристика свойств конструкционного материала

Понятие «твёрдость» широко распространено и часто применяется в повседневной жизни. В технике наиболее часто это понятие воспринимают как сопротивление, оказываемое телом при внедрении в него другого, более твёрдого тела. Различают макро- и микротвёрдость конструкционного материала. Микротвёрдость относится к оценке твёрдости сверхтонких слоев и отдельных фаз, а также структурных составляющих, что очень важно при решении многих металловедческих задач.

Разнообразие методов и разный физический смысл чисел твёрдости усложняют общее определение твёрдости как одной из характеристик физико-механического свойств материала изделий. В разных методах и при различных условиях проведения испытания числа твёрдости могут характеризовать упругие свойства, сопротивление малым или большим пластическим деформациям, сопротивление материала разрушению.

Испытание на твердость относится к наиболее часто используемым методам механических испытаний материалов благодаря следующим преимуществам:

1. Измерение твёрдости по технике выполнения значительно проще и быстрее, чем определение прочности, пластичности и вязкости. Испытания твёрдости не требуют изготовления специальных образцов и выполняются непосредственно на проверяемых деталях после зачистки на

поверхности ровной горизонтальной площадки, а иногда даже и без такой подготовки.

2. Измерение твёрдости обычно не влечет за собой разрушения проверяемой детали, и после этого её можно использовать по своему назначению.

3. Твёрдость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях, не превышающих десятых долей миллиметра, или в микрообъемах металла; в последнем случае измерения проводят способом микротвёрдости. Поэтому многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например поверхностного слоя цементованной, азотированной или закалённой стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом определения микротвёрдости можно также измерять твёрдость отдельных составляющих в сплавах.

4. Методики измерения твёрдости изделий сравнительно просты и оперативны, их легко освоить. Приборы и оборудование для измерения твёрдости, как правило, проще, чем при других методах испытаний.

5. Между твёрдостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими физико-механическими свойствами (главным образом пределом прочности) существует количественная зависимость. По значениям твёрдости можно определять и некоторые пластические свойства металлов.

Твёрдость при вдавливании является средней характеристикой сопротивления материала значительным пла-

стическим деформациям, т.е. существует количественная зависимость между твердостью HV и пределом прочности σ_B , например:

$$\sigma_B = K \cdot HB, \quad (1)$$

где σ_B – предел прочности при растяжении (МПа); K – коэффициент; HB – твердость по Бринеллю.

Значения K приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента K , между пределом прочности σ_B и HB для различных металлических материалов

Материалы	K
Чугуны	0,15
Литейные алюминиевые сплавы	0,25
Деформируемые алюминиевые сплавы	0,38
Дюралюминий после закалки и старения	0,35
Дюралюминий после отжига	0,36
Медь, латунь, бронза после наклёпа	0,405
Медь, латунь, бронза после отжига	0,55
Высокопрочные стали	0,36
Малоуглеродистые стали	0,34
Магниевые сплавы	0,43
Аустенитные стали	0,45

В технической литературе твердость всегда обозначается буквой H (от англ. *hardness* – твердость). За буквой H всегда пишется одна или две буквы, обозначающие метод испытания твердости, например: HB – твердость по Бринеллю; HRA , HRB , HRC – твердость по Роквеллу (по шкалам А, В и С соответственно); HV – твердость по Виккерсу и т.д.

2. Методы определения макротвёрдости конструкционного материала

Разработано большое количество методов измерения твёрдости, которые обычно основываются на том, что в испытуемый материал вдавливают твёрдый предмет-индентор и образующуюся при этом пластическую и (или) упругую деформацию рассматривают как меру твёрдости материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твёрдость.

Твердость определяют экспериментально статическими и динамическими методами.

При использовании статических методов твёрдость определяется вдавливанием в поверхность материала когонибудь твёрдого наконечника – индентора (выполненного в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы), деформацией которого можно пренебречь. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твёрдости материала.

В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои материала, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным материалом. В таких условиях возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна по сравнению с получаемыми при других видах механических ис-

пытаний (на растяжение, изгиб, кручение, сжатие). Поэтому при измерении твёрдости вдавливанием пластическую деформацию испытывают не только пластичные, но и хрупкие металлы и сплавы, которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются практически без пластической деформации (например, чугун),

Динамические методы определения твёрдости основаны на нанесении отпечатка шариком при ударной нагрузке, когда твёрдость определяется как сопротивление материала пластическому деформированию по усилию ударе или по отскоку от материала свободно падающего бойка или маятника с бойком. В последнем случае твёрдость определяется как сопротивление материала упругой и упруго-пластической деформации.

Во всех методах испытания на твёрдость очень важно правильно подготовить поверхностный слой образца. Он должен по возможности полно характеризовать материал, твёрдость которого необходимо определить. Все поверхностные дефекты (окалина, выбоины, вмятины, грубые рис-ки и т.д.) должны быть удалены. Требования к качеству испытываемой поверхности зависят от применяемого индентора и величины прилагаемой нагрузки. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше требуется чистота поверхности и тем более строго нужно следить за тем, чтобы свойства поверхностного слоя не изменились вследствие наклёпа или разогрева при шлифовании и полировке.

Нагрузка прилагается по оси вдавливаемого индентора перпендикулярно к испытываемой поверхности. Для соблюдения данного условия плоскость испытываемой поверхности должна быть строго параллельна опорной поверхности. Неплоские образцы крепят на специальных опорных столиках, входящих в комплект твердомеров.

2.1. Методы измерения твёрдости при статическом нагружении

Эти методы отличаются друг от друга формой индентора (шарик, пирамида, конус), его материалом (закаленная сталь, твердый сплав, алмаз) и величиной приложенной нагрузки, а также способом выражения характеристик твердости.

Определение твёрдости в макроскопической области, т.е. с применением усилий при испытании ($F > 30$ Н), приводит к получению большого отпечатка, который выбирают в качестве характеристики макротвёрдости для изделия (детали) в целом. К испытаниям такого рода относятся способы определения твёрдости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу.

При определении микротвёрдости с использованием небольших и очень малых нагрузок (до 2 Н) удаётся получить характеристики твёрдости в специфических областях. Поскольку получаемые отпечатки очень малы, можно при использовании подобных методов провести локальное измерение твёрдости. Например, можно измерить твёрдость отдельных кристаллитов или включений, а также описать изменение твердости в ликвационных участках

или в зоне диффузии. Микротвёрдость расширяет область изучения свойств материалов, особенно в связи с физической и структурной неоднородностью.

2.2. Определение твёрдости по Бринеллю

При определении твёрдости по Бринеллю (рис. 1) предварительно подвергнутый закалке и отпуску стальной шарик в течение установленного времени вдавливается с определенной силой P в испытуемый образец.

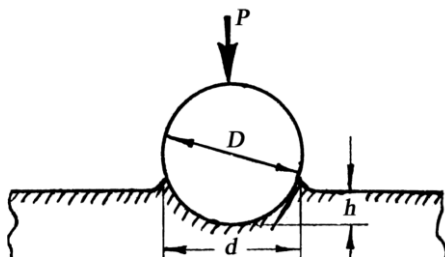


Рис. 1 – Схема определения твёрдости по Бринеллю

В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде полусферы диаметром d и глубиной h .

Отношение нагрузки P (кгс) к поверхности сферической лунки F (мм^2), характеризует величину твёрдости HB по Бринеллю:

$$HB = P / F, \text{ кгс/мм}^2. \quad (2)$$

Поверхность $F = \pi \cdot D \cdot h$. Так как высоту сегмента h измерить трудно, то её можно выразить через диаметры шарика D и лунки d .

Если
$$h = 0,5 \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (3)$$

тогда

$$F = 0,5 \cdot \pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (4)$$

а число твердости

$$HB = 2 \cdot P / \pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}). \quad (5)$$

Получаемое число твердости зависит от диаметра отпечатка d , который тем больше, чем мягче испытуемый материал.

При определении твердости по Бринеллю используются специальные прессы, где давление осуществляется или гидравлическим способом, или грузами, которые передвигаются электродвигателем (рычажный пресс).

Схема рычажного прессы ТШ представлена на рис. 2.

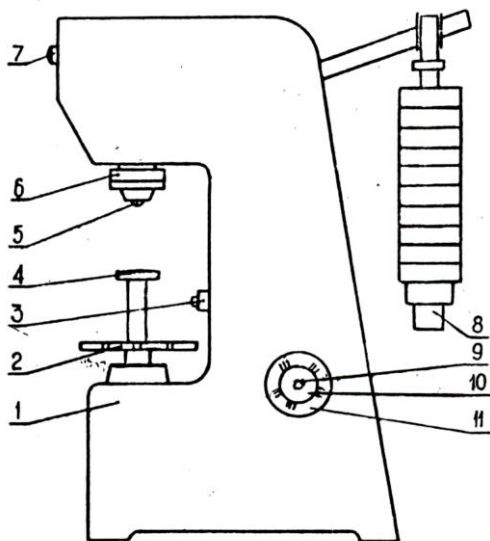


Рис. 2 – Схема рычажного прессы Бринелля:

1 – корпус; 2 – маховик; 3 – кнопка; 4 – стол; 5 – накопник; 6 – ограничитель; 7 – сигнальная лампочка; 8 – подвеска с грузами; 9 – винт; 10 – подвижный диск; 11 – неподвижный диск.

Испытуемый образец или деталь устанавливают на стол 4. Измеряемая поверхность должна быть или шлифованной, или зачищенной таким образом, чтобы отпечаток от вдавливания шарика был отчетливо виден. Вручную поворотом маховика 2 по часовой стрелке подводят испытуемый материал под шарик до упора и нажатием кнопки 3 включают электродвигатель. Вращение ротора электродвигателя передается на кривошипно-шатунный механизм нагружения, и рычажная система передает через наконечник 5 на испытуемое изделие нагрузку P , создаваемую грузами 8.

Время выдержки под нагрузкой 10, 30 и 60 с устанавливается с помощью подвижного диска 10. Цифры на диске, указывающие время, должны находиться против ориентировочного числа твердости испытуемого образца, нанесенного на неподвижном диске 11. Это число зависит от диаметра шарика.

Закрепление диска 10 осуществляется с помощью винта 9. Затем двигатель автоматически переключается на вращение в обратную сторону (таким образом снимается нагрузка) и выключается двигатель. Нагрузку P выбирают в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости, которую приближенно оценивают с учетом природы сплава и способа его обработки. Длительность выдержки под нагрузкой для материалов с высокой точкой плавления (стали, чугуны) не имеет большого значения и обычно назначается минимальной (10 с). Для легкоплавких материалов ($t_{\text{рекр}} < 0$ °С; у свинца $t_{\text{рекр}} = -70$ °С) наблюдается

явление ползучести под постоянной нагрузкой, поэтому для стабилизации пластической деформации время выдержки увеличивают до 60 с.

Полученный диаметр отпечатка измеряют лупой, на которой нанесена шкала. Диаметр лунки измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и находят среднее значение. Установка лупы и замер отпечатка показаны на схеме замера диаметра лунки (рис. 3).

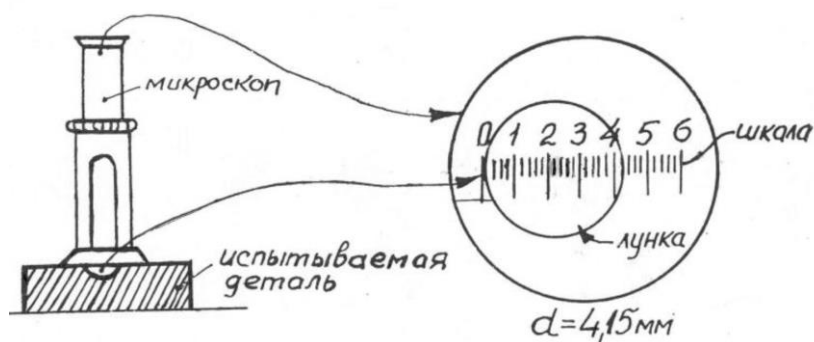


Рис. 3 – Схема замера диаметра лунки

Для устранения продавливания образца насквозь или выпучивания краев испытываемые образцы должны иметь толщину не менее десятикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2,5d$, а между центрами двух соседних – не менее $4d$.

Во избежание существенных ошибок из-за деформации стального закалённого шарика способом Бринелля обычно испытывают металлы с твёрдостью по Бринеллю не более 450 кгс/мм^2 (принято обозначать $HB 450$).

Измерение твёрдости образца по Бринеллю следует начинать с выбора диаметра шарика $Dш$, который зависит от размеров испытуемого образца.

Если материал структурно неоднородный, крупнозернистый, нужно брать большой шарик ($D = 10$ мм), а обычно D выбирается так, чтобы d/D было в пределах 0,2–0,5, т.к. слишком мелкий или очень глубокий отпечаток приводит к значительным погрешностям при измерении твёрдости. Получение постоянной и одинаковой зависимости между величиной нагрузки и диаметром отпечатка требует соблюдения определенных условий.

1.
$$P/(Dш)^2 = \text{const},$$

где $Dш$ – диаметр шарика.

К рычажному прессу Бринелля (рис. 2) прилагаются шарики диаметром 2,5; 5 и 10 мм.

2. Соотношение $P/(Dш)^2$ должно быть различным для металлов разной твёрдости.

Измерение диаметра отпечатка позволяет определить по формуле (5) число твёрдости HB испытуемого образца.

Способ измерения твердости по Бринеллю не является универсальным. Его используют для материалов малой и средней твёрдости: сталей с твёрдостью $\leq HB 450$, цветных металлов с твёрдостью $\leq HB 200$.

К недостаткам данного способа следует отнести невозможность испытания твёрдости поверхностного слоя толщиной 1–2 мм, т.к. шарик будет продавливать тонкий слой металла и на поверхности изделия после испытания останутся заметные следы.

Вопросы для закрепления материала по методике и условиям измерения твёрдости по Бринеллю

1. Каков принцип измерения твёрдости по Бринеллю *HV*? У каких материалов определяют *HV*?
2. Какой индентор используются при измерении твёрдости по Бринеллю *HV*?
3. В зависимости от чего выбираются диаметр шарика при испытании твёрдости по Бринеллю?

Методические рекомендации при измерении твёрдости по Бринеллю

1. Студентам предлагается детально ознакомиться с особенностями конструкции и принципом действия рычажного пресса Бринелля, методикой измерения твёрдости по Бринеллю, а также с правилами выбора условий измерения твердости.
2. Каждый студент после получения задания осуществляет с привлечением программного Интернет-сервиса выбор, по меньшей мере, одной марки сплава с учётом вида предварительной обработки (наклёпа, закалки, старения, отпуска и др.) для каждого приведенного в табл. 2 металлического материала.
3. Соответственно результатам выполненного задания студенты заполняют в графу «Материал» через тире после названия материала вносят условные обозначения марок выбранных сплавов. Дают расшифровку этих обозначений.
4. Используя формулу (5) студенты определяют величину твёрдости (*HV*); производят приблизительную оценку

предела прочности (σ_v), пользуясь формулой (1) и данными табл. 1 относительно значений коэффициента K . Полученные результаты фиксируют в соответствующих графах табл. 2.

Таблица 2

Задание для обработки результатов измерения макротвёрдости по Бринеллю

№	Материал	Диаметр отпечатка $d_{отп}$, мм	Число твёрдости $HВ$ при $P = 750$ кг	Предел прочности σ_v , кг/см ²
1	Дюралюминий после закалки и старения	2,71		
2	Дюралюминий после отжига	2,93		
3	Латунь после наклёпа	2,82		
4	Аустенитная сталь	2,75		
5	Высокопрочная сталь	2,64		
6	Бронза после отжига	2,87		
7	Чугун серый	2,59		

4. Используя формулу (5) студенты определяют величину твёрдости ($HВ$); производят приблизительную оценку предела прочности (σ_v), пользуясь формулой (1) и данными

ми табл. 1 относительно значений коэффициента K . Полученные результаты фиксируют в соответствующих графах табл. 2.

5. По окончании работы составляется письменный отчет, включающий полностью заполненную табл. 2 и выводы относительно вида обработки материала.

Демопример расчёта числа твёрдости (НВ)

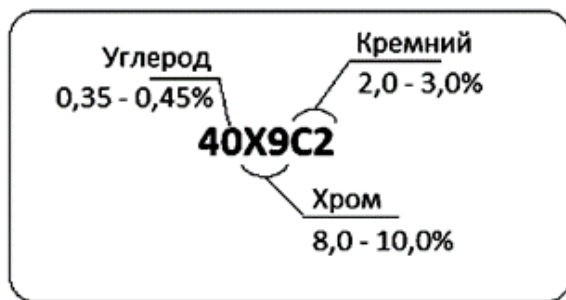
Исходные данные – $d_{\text{отп}} = 2,5$ мм чугуна серого; Усилие нагрузки $P = 750$ кг .

Вычисление по формуле (5):

$$\begin{aligned} HB &= 2 \cdot 750 / (3,14 \cdot 5 \cdot (5 - \sqrt{5^2 - 2,5^2})) = \\ &= 1500 / (15,7 \cdot (5 - \sqrt{25 - 18,75})) = 1500 / (15,7 \cdot (5 - 4,33)) = \\ &= 1500 / (15,7 \cdot 0,66987) = 1500 / 10,517 = 142,6 \approx 142. \end{aligned}$$

$$\sigma_B = 142 \cdot 0,15 = 21,3 \text{ кг/см}^2.$$

Пример расшифровки легированной марки стали



2.3. Определение твердости по Роквеллу

Метод Роквелла является ещё одним методом проверки твёрдости материалов. Благодаря простоте этот метод является наиболее распространённым.

Метод измерения твёрдости по Роквеллу регламентируется ГОСТ 9013-59 (в редакции 1989 г). Сущность метода заключается во вдавливании алмазного конуса или стального шарика в образец (изделие) под действием последовательно прилагаемых предварительной (P_0) и основной (P_1) нагрузок и измерения глубины вдавливания индентора (h) после снятия основной нагрузки (рис. 4) на твёрдометре Роквелла ТК-2 (рис. 5).

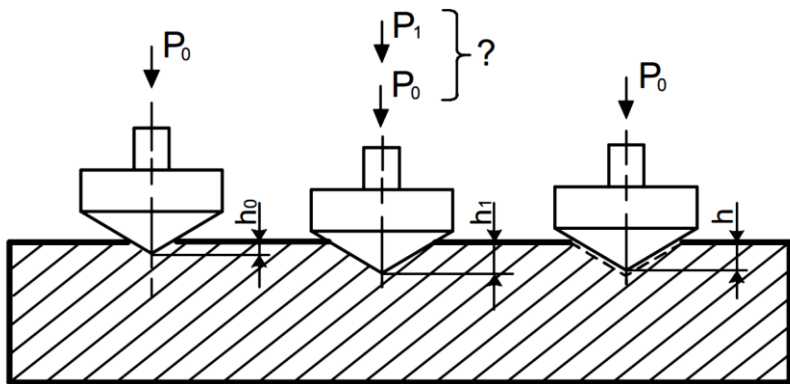


Рис. 4 – Схема определения твёрдости по Роквеллу

Предварительная нагрузка P_0 прилагается для исключения влияния упругой деформации, шероховатости и локальных повреждений поверхности, а также в случае сложной конфигурации испытуемого образца.

В методе Роквелла при изменении нагрузки и использовании индентора одного типа сохраняется подобие отпечатков, а мерой твёрдости служит глубина h проникновения индентора в исследуемый материал, значение которой непосредственно считывается со стрелочного ин-

дикатора прибора измерения твёрдости (рис. 6). Поэтому метод Роквелла нашёл широкое практическое применение вследствие меньшей трудоёмкости по сравнению с методом Бринелля, возможности определения твёрдости материалов более 450 НВ, определения твёрдости тонких поверхностных слоев.

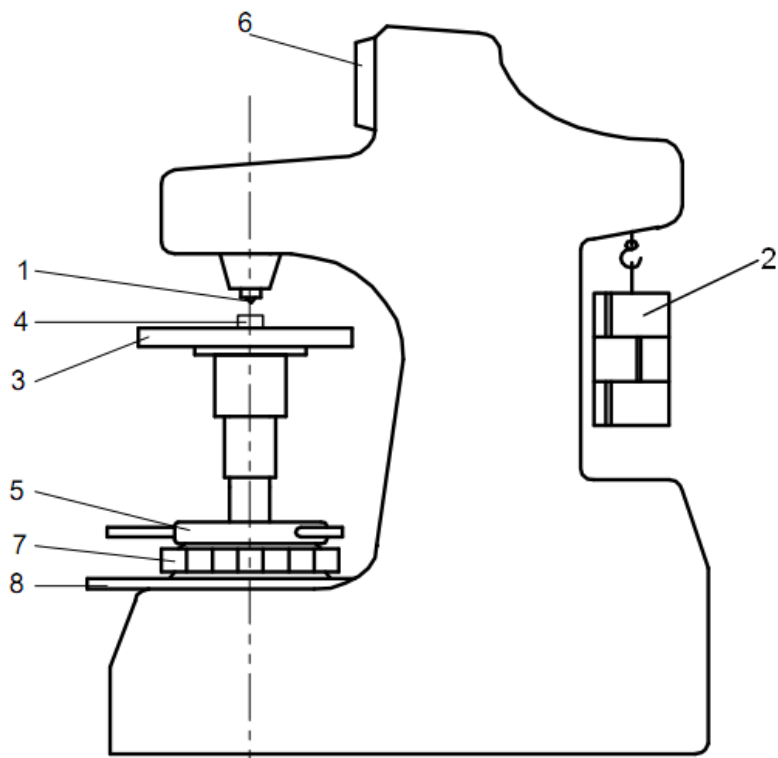


Рис. 5 – Твёрдометр Роквелла ТК-2:

1 – индентор, 2 – грузы, 3 – стол, 4 – образец, 5 – маховик, 6 – индикатор (рис.4), 7 – барабан, 8 – пусковая клавиша

В методе Роквелла при изменении нагрузки и использовании индентора одного типа сохраняется подобие отпечатков, а мерой твёрдости служит глубина (h) проникновения индентора в исследуемый материал, значение которой непосредственно считывается со стрелочного индикатора прибора измерения твёрдости (рис. 6).

Метод Роквелла нашёл широкое практическое применение вследствие меньшей трудоёмкости по сравнению с методом Бринелля благодаря возможности определения твёрдости материалов более 450 НВ и определения твёрдости тонких поверхностных слоев.

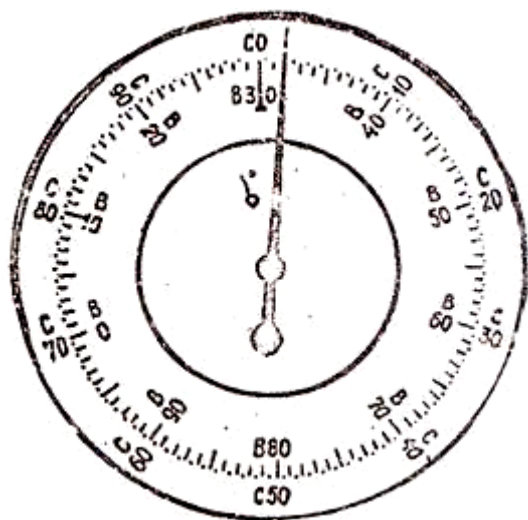


Рис. 6 – Шкала индикатора твердометра Роквелла ТК-2

Твёрдость по Роквеллу выражается отвличенной величиной, зависящей от глубины вдавливания (h), и может быть определена расчётным путём. Но в этом нет необхо-

димости, т.к. твёрдость определяется по показаниям индикатор твёрдометра Роквелла ТК-2. Метод Роквелла позволяет проводить испытания деталей после поверхностного упрочнения и объёмной закалки.

Существует 11 шкал определения твёрдости по методу Роквелла (А; В; С; D; E; F; G; H; K; N; T), основанных на комбинации «индентор (наконечник) – нагрузка». Наиболее широко используются два типа инденторов: шарик из карбида вольфрама диаметром 1/16 дюйма (1,5875 мм) – или такого же размера шарик из закалённой стали и конический алмазный наконечник с углом при вершине 120°. Возможные нагрузки – 60, 100 и 150 кгс (табл. 3). Величина твёрдости определяется как относительная разница в глубине (h) проникновения индентора при приложении основной и предварительной (10 кгс) нагрузки.

Таблица 3

Значения возможных величин нагрузки при определении твёрдости с использованием шкал А, В и С

Шкала	Твёрдость (обозначение)	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P ₀	P ₁	P ₂	
А	HRA	Алмазный конус с углом при вершине 120°	10	50	60	Для особо твёрдых материалов
В	HRB	Стальной шарик закалённый 1/16"	10	90	100	Для относительно мягких материалов
С	HRC	Алмазный конус с углом при вершине 120°	10	140	150	Для относительно твёрдых материалов

Для обозначения твёрдости, определённой по методу Роквелла, используется символ HR. К нему добавляется буква, указывающая на шкалу, по которой проводились испытания (HRA, HRB, HRC). Чем твёрже материал, тем меньше будет глубина про-никновения (h) в него наконечника. Чтобы при бóльшей твёрдости материала не получалось бóльшее число твёрдости по Роквеллу, вводят условную шкалу глубин, принимая за одно её деление глубину, равную 0,002 мм. При испытании алмазным конусом предельная глубина внедрения составляет 0,2 мм, или 0,2/0,002 (100 делений); при испытании шариком – 0,26 мм, или 0.26/0.002 (130 делений). Таким образом формулы для вычисления значения твёрдости будут выглядеть следующим образом.

1. Измерение по шкале А (HRA) и С (HRC):

$$HR = 100 - \frac{H - h}{0,002}$$

Разность $H - h$ представляет разность глубин погружения (h) индентора (в миллиметрах) после снятия основной нагрузки и до её приложения (при предварительном нагружении).

2. Измерение по шкале В (HRB):

$$HR = 130 - \frac{H - h}{0,002}$$

Методические рекомендации при измерении твердости по Роквеллу

1. Выбравается подходящая А, В или С шкала для испытуемого материала.

2. Производится установка соответствующего индетора и нагрузки.
3. Перед тем, как начать испытание твёрдости изделия, сделать два не учитываемых отпечатка, чтобы проверить правильность посадки наконечника и стола прибора.
4. Осуществляется установка эталонного блока на столик прибора.
5. Прикладывается предварительная нагрузка в 10 кгс, обнуляется шкала прибора.
6. Прикладывается основная нагрузка до достижения максимального усилия.
7. Осуществляется снятие основной нагрузки в момент достижения максимального усилия.
8. Считывается с циферблата по соответствующей шкале значение твёрдости (цифровой прибор показывает на экране значение эталонной твёрдости).
9. Порядок действий при проверке твёрдости испытуемого образца такой же, как и на эталонном блоке. Допускается делать по одному измерению на образце при проверке массовой продукции.

Факторы, влияющие на точность измерения твёрдости

- Важным фактором является толщина образца. Не допускается проверка образцов с толщиной менее десятикратной глубины проникновения наконечника.
- Ограничивается минимальное расстояние между отпечатками (3 диаметра между центрами ближайших отпечатков).

– Не допускается параллакс при считывании результатов с циферблата.

2.4. Определение твёрдости по Виккерсу

Метод измерения твёрдости по Виккерсу регламентирует ГОСТ 2999-75 (в редакции 1987 г) и ISO 6507. Сущность метода заключается во вдавливании алмазного индентора в форме правильной четырёхгранной пирамиды с углом при вершине 136° в образец и измерении диагонали отпечатка после снятия нагрузки (рис. 7).

Значения твёрдости определяются как отношение величины приложенной нагрузки к площади отпечатка и имеют размерность кгс/мм² (Н/мм²). При использовании метода Виккерса нагрузка составляет 1–100 кгс. Запись значения твёрдости в 500 единиц при нагрузке 30 кгс и времени выдержки под нагрузкой 10–15 с обозначается как 500 HV, значение твёрдости в 220 единиц при нагрузке 10 кгс и времени выдержки 40 с – 220 HV 10/40.

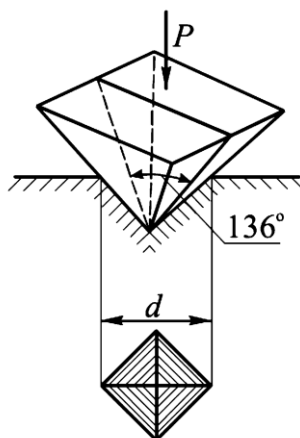


Рис. 7 – Схема получения отпечатка по Виккерсу

Метод Виккерса используется для твёрдых и мягких материалов, для деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев (азотирование, борирование, цианирование и т.д.).

Нагрузка P может изменяться от 9,8 Н (1 кгс) до 980 Н (100 кгс). Твёрдость по Виккерсу:

$$HV = 0,189 \times P/d^2 \text{ (МПа)},$$

если P выражена в Н;

и

$$HV = 1,854 \times P/d^2 \text{ (кгс/мм}^2\text{)},$$

если P выражена в кгс.

Метод используют в основном для определения твёрдости деталей малой толщины, тонких покрытий или твёрдости внешних слоев детали после поверхностного упрочнения (например, после азотирования).

При правильном выборе нагрузки для измерения метод может заменять приборы Бринелля и Роквелла.

Чем тоньше материал, покрытие или упрочнённый слой, тем меньше должна быть нагрузка. Число твёрдости по Виккерсу (HV) определяют по специальным таблицам, по измеренной величине d (диагонали отпечатка в миллиметрах) с учётом приложенной при измерении нагрузки.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к поверхности изделия (образца) при измерении твёрдости?
2. Какие материалы можно измерить методом Бринелля?
3. Как выбрать режим испытания на твёрдость на приборе Бринелля?

4. Каким прибором и как замерять диаметр отпечатка от индентора на приборе Бринелля?
5. Как подсчитать твёрдость образца (детали) по Бринеллю после его испытания?
6. Какие существуют зависимости между твёрдостью и пределом прочности материала на растяжение?
7. Какие применяются инденторы и нагрузки при испытании материалов по методу Роквелла?
8. Как правильно выбрать режим испытания на приборе Роквелла?
9. На каком твёрдомере результаты измерения твёрдости точнее?
10. Что обозначает HRB, HRC, HRA?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 55612-2013 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения. – URL.: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55253/>.
2. ГОСТ 56542-2019 Контроль неразрушающий. Классификация методов.
3. Белевитин, В.А. Материаловедение: свойства металлов и сплавов: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2012. – 236 с. – ISBN 978-5-85716-917-9.
4. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справоч. пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2015. – 251 с.: ил. – ISBN 978-5-906777-38-6.
5. INTEGRATED APPROACH TO MODELING IC COMPETENCE IN STUDENTS / V.A. Belevitin, V.V. Rudnev, M.L. Khasanova, et al. // Intern. Journal of Engineering and Technology. 2018. – V. 7. – No 4. – С. 60–62. – ISSN: 2227-524X.
6. ГОСТ 9013-59 (в редакции 1989 г). Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – URL.: <https://files.stroyinf.ru/Data/184/18434.pdf>.
7. ГОСТ 9012-59 (в редакции 1989 г). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – URL.: <https://gostbank.metaltorg.ru/data/24936.pdf>.
8. ГОСТ 2999-75. Металлы. Метод измерения твердости по Виккерсу. – URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1200004651>.
9. Тарасов, В.В. Материаловедение: учеб. пособие / В.В. Тарасов, С.Б. Малышко, С.А. Горчакова. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2019. – 133 с. – ISBN 978-5-8343-1139-3.

Учебное издание

**ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Методические рекомендации
Составитель Владимир Анатольевич Белевитин

ISBN 978-5-907611-31-3

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ
Протокол № 25, 2022 г.

Редактор Л.Н. Корнилова
Компьютерная верстка В.А. Белевитин

Издательство ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 07.04.2022 г.
Формат 60x84/16
Объем 0,9 уч.-изд. л. – 1,9 усл.п.л.
Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69