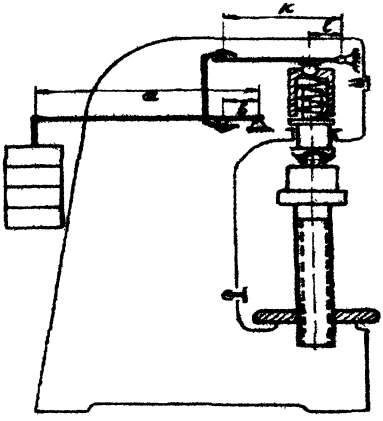
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Сопротивление материалов»

ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторной работе



РПК
«Политехник»
Волгоград
2004

УДК 539 3

Рецензент

О В Кондратьев

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Твердость материалов: Методические указания/ Сост. А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, А. А. Белов/ Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 16 с.

Описаны методы измерения твердости с применением государственных стандартов на проведение испытаний и требования, предъявляемые к оформлению протоколов испытаний Приводится список учебной и специальной литературы, а также вопросы для контроля знаний студентов В приложении приведена таблица соответствия значений твердости, измеренных различными методами

Предназначены для студентов дневной, вечерней и заочной форм обучения, изучающих курс сопротивления материалов Могут быть использованы при выполнении соответствующей лабораторной работы по курсу «Сопротивление материалов»

Ил 7 Библиогр. 7 назв

© Волгоградский государственный
технический университет, 2004

Алексей Николаевич **Савкин**
Валентин Иванович **Водопьянов**
Андрей Анатольевич **Белов**

ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

Темплан 2004, поз № 310
Подписано в печать 21.12.2004 Формат 60x84 1/16.
Бумага газетная Печать офсетная
Усл печ. л. 0,93. Тираж 100 экз Заказ 907

Волгоградский государственный технический университет
400131 Волгоград, просп. им. В.И. Ленина, 28.

РПК "Политехник"
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул Советская, 35

Цель работы: ознакомиться с существующими методами определения твердости, получить практические навыки в определении твердости конструкционных материалов и пересчете чисел твердости, определяемых различными методами; научиться оценивать величину временного сопротивления материала без разрушения образца.

1. Понятие о твердости материалов

Под твердостью конструкционных материалов понимают способность поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформациям или разрушению при внедрении в него другого, более твердого тела (индентора). Индентор должен быть определенной формы и размеров и не получать остаточную деформацию от действия прикладываемых к нему статических или динамических нагрузок. Выбор метода определения зависит от различных факторов: твердости материала, размеров детали (образца), толщины слоя, твердость которого нужно замерить и т. д. Условия определения твердости, требования к оборудованию, приборам и образцам и т. д. регламентируются государственными стандартами.

Характеристикой твердости материала является число твердости, которое может определяться различными способами (Бринелля, Роквелла и т. д.). Поэтому числа твердости для одного и того же материала, определяемые различными способами, получаются различным как по величине, так и по размерности. С помощью специальных таблиц, номограмм, формул (эмпирических) можно осуществлять пересчет чисел твердости.

Учитывая неизбежный разброс значений твердости по поверхности одного и того же материала, испытаниям подвергается несколько образцов, а на каждом образце делают несколько вдавливаний. Затем проводят статистическую обработку результатов испытаний.

Испытание на твердость – простой метод неразрушающих испытаний. Его результаты увязываются с наиболее распространенными испытаниями на статическое растяжение, например, можно ориентировочно определить предел прочности $\sigma_в$.

Измерение твердости получило широкое распространение, как в заводской практике, так и при выполнении научных исследований. Такие испытания используются в следующих целях:

- для оценки твердости сплавов, как характеристики, косвенно отражающей механические свойства;
- для контроля за качеством термических обработок, вызывающих изменение свойств в поверхностном слое, например, цементация, поверхностная закалка, электромеханическая обработка и т. д;
- для контроля за изменением механических свойств во времени (например, контроль за состоянием трубопроводов) и т. д.

1.1. Метод Бринелля[1]. Метод измерения твердости металлов по Бринеллю (ГОСТ 9012-59) заключается во вдавливании шарика стального или из твердого сплава диаметром D в образец (изделие) под действием силы, приложенной перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и измерении диаметра отпечатка d после снятия силы (рис. 1).

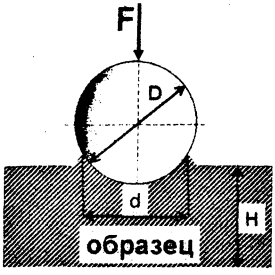


Рис. 1. Вид деформированного образца после вдавливания шарика

Число твердости по Бринеллю определяется как частное от деления нагрузки F (*кгс*), приложенной к шарику, на площадь поверхности сферического отпечатка A (*мм*^{2})

$$HB = \frac{F}{A}. \qquad (1)$$

Стандартом предусмотрены следующие диаметры стальных шариков: 10; 5; 2,5; 2 и 1 мм.

Для получения одинаковых значений твердости при испытаниях одного и того же металла шариками разного диаметра необходимо, чтобы соблюдалось соотношение между размером шарика и действующей на него нагрузкой $K = F/D^2$. Отношение K подбирается из ряда значений, приводимых в ГОСТе, с учетом свойств металла так, чтобы соотношение между диаметрами шарика и отпечатка было в некотором диапазоне (d/D = 0,24 – 0,6). Например, для сталей и высокопрочных сплавов ГОСТ рекомендует принимать отношение K = 30, для цветных металлов и сплавов принимают K = 10, а для очень мягких металлов – K = 2,5 (подшипниковые сплавы) или даже K = 1 (свинец, олово).

На практике по диаметру d отпечатка находят число твёрдости HB, используя таблицы, составленные для каждого из рекомендуемых соотношений F и D. Современное оборудование позволяет находить твердость, определяя глубину h внедрения шарика.

Пластическое деформирование объемов металла в окрестности внедряемого наконечника связано с прохождением в них структурных изменений. Длительность протекания этих процессов зависит от свойств металла. Для чёрных металлов достаточно 10 – 15 секунд выдержки под нагрузкой, для большинства цветных – 30 секунд. В некоторых случаях для завершения пластического течения устанавливают 180 секунд или особо оговаривают условия испытания.

Когда твердость испытуемого металла соизмерима с твердостью наконечника – стального шарика, то вследствие деформации шарика искажа-

---

[1] *Бринелль* или *Бринелль (Brinell) Юхан Август* (1849 – 1925), шведский инженер. Труды по металлургии стали и определению твердости металлов и сплавов. Метод определения твердости металлов, названный его именем, предложил в 1900 г.

ется форма отпечатка, что влияет на точность результатов. Во избежание существенных ошибок вследствие смятия шарика вводится ограничение на применение метода Бринелля: испытывают материалы с твердостью не превышающей *450 HB*. Для испытаний весьма твердых материалов используют другие методы, например, Виккерса или Роквелла, где в качестве индентора используют алмаз – самый твердый материал в природе.

Твердость по Бринеллю обозначают символом *HB* (Hardness Brinell), (*HBW*):

HB – при применении стального шарика (твердость детали менее 450 единиц);

HBW – при применении шарика из твердого сплава (твердость детали более 450 единиц). Символу *HB* (*HBW*) предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, а после символа указывают диаметр шарика, значение приложенной силы (в *кгс*), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 или 15 секунд.

Примеры обозначений:

250 HB 5/750 – твердость по Бринеллю 250, измеренная стальным шариком диаметром 5 мм, при нагрузке 750 *кгс* (7355 Н) и продолжительности выдержки 10 – 15 с;

575 HBW 2,5/187,5/30 – твердость по Бринеллю 575, измеренная шариком из твердого сплава диаметром 2,5 мм, при нагрузке 187,5 *кгс* (1839 Н) и продолжительности выдержки под нагрузкой 30 с.

При определении твердости стальным шариком или шариком из твердого сплава диаметром 10 мм при нагрузке 3000 *кгс* (29420 Н) и продолжительности выдержки 10 – 15 секунд твердость по Бринеллю обозначают только числовым значением твердости и символом HB или HBW (например, *300 HB*).

1. 2. Метод Виккерса[2]. Метод измерения твердости черных и цветных металлов и сплавов (ГОСТ 2999-75) основан на вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды в образец (изделие) под действием силы, приложенной в течение определенного времени, и измерении длин обеих диагоналей отпечатка, оставшегося на поверхности образца после снятия нагрузки.

Угол между противоположными гранями пирамиды 136°. Значение нагрузки на индентор выбирают из диапазона от 1 до 100 *кгс*.

Метод Виккерса является одним из наиболее совершенных и очень распространенных в лабораторной практике способов определения твердости. Высокая твердость и несминаемость алмаза обеспечивает большую степень точности определения твердости методом Виккерса. Это особенно важно при испытании твердых материалов (более 500 *кгс/мм*^{2}). Ценность метода состоит также в том, что вследствие малых нагрузок вдавливания удается

---

[2] Название от английского военно-промышленного концерна «Vickers Limited».

испытывать очень тонкие образцы, а также определять твердость тонких поверхностных слоев (например, азотированной стали). Можно определять твердость мелких готовых изделий, не разрушая и не портя их вследствие малой величины отпечатка.

Твердость по Виккерсу указывается в единицах *HV* (Hardness Vickers) и определяется как частное от деления нагрузки *F* (*кгс*), приложенной к пирамиде, на площадь поверхности отпечатка *A* (*мм*^{2}), т. е. к поверхности углубления в форме пирамиды

$$HV = 1{,}854\frac{F}{d^2}. \qquad (2)$$

где *d* – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, *мм*. Измерение диагоналей производят с помощью микроскопа. Число твердости находят по таблицам.

Твердость по Виккерсу при силовом воздействии 30 *кгс* (294,2 *Н*) и времени выдержки под нагрузкой 10 – 15 секунд обозначают цифрами, характеризующими величину твердости и буквами *HV*.

Пример обозначения: 500 HV – твердость по Виккерсу, измеренная при силе 30 *кгс* и времени выдержки 10 – 15 секунд.

При других условиях испытания после букв *HV* указывают нагрузку и время выдержки.

Пример обозначения: 220 HV 10/40 – твердость по Виккерсу, измеренная при силе 10 *кгс* (98,07 Н) и времени выдержки 40 секунд.

Замечание о размерности чисел твердости по Бринеллю и Виккерсу. Согласно формулам (1) и (2) значения твердости вычисляются как отношение нагрузки, вычисленной в *кгс* к площади отпечатка, выраженной в *мм*^{2}, т. е. в *кгс/мм*^{2} – размерности напряжений. Твердость по Бринеллю указывается в единицах НВ, а по Виккерсу – в единицах *HV* без указания размерности. Если усилие выражено в Ньютонах то для вычисления значений твердости вместо формул (1) и (2) используются формулы:

$$HB = \frac{0{,}102\,F}{A} \quad \text{и} \quad HV = 0{,}189\frac{F}{d^2} \qquad (3)$$

1.3. Метод Роквелла[3]. Метод измерения твердости металлов и сплавов по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конуса с углом при вершине 120° (шкалы А и С) или стального шарика диаметром 1/16" (1,5875 мм) (шкала В) под действием последовательно прилагаемых предварительной и основной сил и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основной силы.

---

[3] Назван по имени американского металлурга *С. П. Роквелла* (S. P. Rockwell).

Таблица 1

Нагрузка на Индентор и диапазоны измерений по Роквеллу

Шкалы Роквелла	Нагрузки на индентор, кгс			Диапазоны измерений
	Предварительная	Основная	Общая	
A	10	50	60	70 – 85 HRA
B	10	90	100	25 – 100 HRB
C	10	140	150	20 – 67 HRC

К преимуществам метода Роквелла можно отнести большую производительность при определении твердости, так как отсчет чисел производится здесь непосредственно по шкале индикатора. Весь процесс измерения твердости занимает всего несколько секунд.

Измерение твердости по шкале С. Если индентор внедрится на глубину h_0 = 0,2 мм, то твердость такого материала условно считается равной нулю. Если же под действием той же нагрузки F индентор не внедряется в материал (пластическая деформация равна нулю), то твердость такого материала принято считать равной 100 единицам Роквелла. Таким образом, за единицу твердости принята величина, соответствующая перемещению наконечника на 0,002 мм. Применение такой "перевернутой" шкалы (рис. 2) обосновано тем, что глубина внедрения индентора обратно пропорциональна твердости материала. Поэтому твердость материала будет характеризоваться величиной ($h_o - h$) в *мм* или числом делений по шкале:

$$\mathrm{HRC} = \frac{h_0 - h}{h_0}. \qquad (4)$$

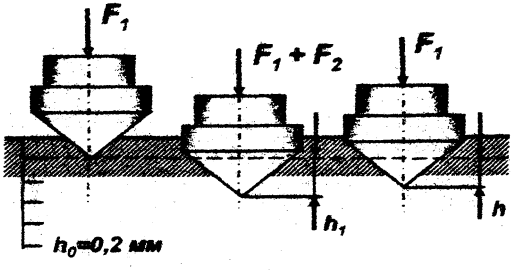


Рис. 2. Схема определения твердости методом Роквелла

Измерение твердости по шкале А. Шкалу А (идентична шкале С) применяют для измерения твёрдости преимущественно листовых материалов. Из-за снижения нагрузки на индентор в 2,5 раза и уменьшения вследствие этого глубины проникновения наконечника минимальную толщину

испытуемого образца или изделия удалось снизить до 0,4 – 0,7 *мм*.

Измерение твёрдости по шкале В. Для многих мягких металлов и сплавов внедрение алмазного конуса может оказаться бо̀льшим, чем 0,2 мм. В этом случае число твердости, вычисляемое по формуле (4), станет отрицательным, что лишено физического смысла и не может характеризовать твердость материала. В этих случаях применяют следующие меры.

- Заменяют конический индентор на сферический;
- Снижают нагрузку на индентор в 1,5 раза (со 150 *кгс* до 100 *кгс*);
- Смещают шкалу на 30 единиц (шкала В красного цвета).

Число твердости определяется по формуле:

$$HRB = \frac{h_o - h}{h_o} \cdot 100 + 30. \qquad (5)$$

Твердость указывается в единицах *HR* (Hardness Rockwell) с добавлением обозначения шкалы (*HRA, HRB, HRC*), которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр. Твердость по Роквеллу – величина безразмерная.

Пример обозначения: 61 HRC – твердость 61 единиц Роквелла по шкале С.

Замечание о переводе чисел твёрдости. Во всех упомянутых выше государственных стандартах указано, что *общего точного перевода чисел твердости, измеренных соответствующими методами на числа твердости, определенными другими методами или на прочность при растяжении не существует.* Однако результаты проведенных многочисленных экспериментов указывают на то, что имеются, хотя и приближенные, но достаточно устойчивые зависимости.

В приложении приведены сравнения твердости металлов и сплавов по различным шкалам, что позволяет производить пересчет твердостей.

Пересчет так же можно производить, используя графики (рис. 3).

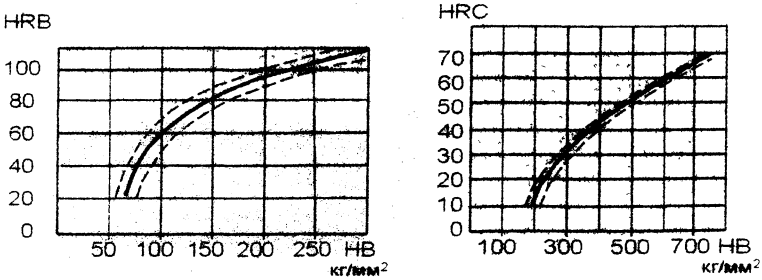


Рис. 3. Зависимость HRC и HRB от HB сталей (штриховкой показано поле разброса опытных точек для различных марок сталей)

1. 4. Метод Шора[4] (упругого отскока). Мерой твердости является высота отскока бойка, падающего с определенной высоты. На испытуемый образец 1 (рис. 4) с высоты H падает груз 2 весом Q с алмазным шариком 3 на конце. Диаметр шарика $D = 2{,}5$ мм. Если при ударе бойка по испытуемому образцу возникла бы только упругая деформация, то он отскочил бы на ту же высоту, с которой падал (если, конечно, не учитывать потери части энергии на вредное сопротивление – трение, сопротивление воздуха, колебание прибора и др).

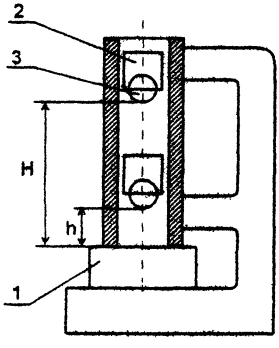


Рис. 4 Схема прибора Шора

Смысл числа твердости по Шору будет понятен из следующих данных. Высота отскока h бойка от высокоуглеродистой стали, закаленной на мартенсит принята равной за 100 и твердость такой стали условно считается равной 100 единицам по Шору (шкала прибора имеет 140 равных делений). Отсутствие отскока соответствует твердости равной нулю.

Между твердостями при упругом отскоке (HSh) и при статическом вдавливании шарика (HB) наблюдается достаточно устойчивая зависимость, близкая к линейной, а именно для стали:

$$HB \cong 7 \cdot HSh. \qquad (6)$$

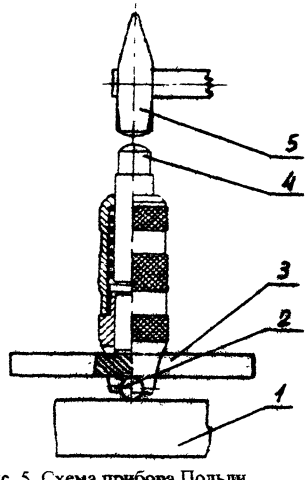


Рис. 5. Схема прибора Польди

1. 5. Метод Польди (двойного отпечатка шарика)

Данным методом производится оценка твердости испытуемого материала в сравнении с твердостью эталона. Испытание производится путем ударного вдавливания стального шарика одновременно в образец ра Польди (рис. 5). Шарик *2* диаметром D помещается между образцои эталон посредством прибом *1* и эталоном *3*. Удар по бойку *4* наносится ручным молотком *5*. Пусть сила удара оказалась равной $Pд$ (динамическая сила), а диаметры ототпечатков на образце и эталоне равны, соответственно, d и $d_э$.

[4] По имени американского промышленника 20 в. А. Шора (A. Shore). Предложен в 1906 г.

Тогда твердости по Бринеллю образца:

$$HB = HB_э \frac{1-\sqrt{1-\left(\frac{d_э}{D}\right)^2}}{1-\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^2}}. \qquad (7)$$

Таким образом, твердость образца можно определить по формуле (7), если известна твердость по Бринеллю эталона $HB_Э$ и диаметры отпечатков $d_Э$ и d. На практике HB определяется по специальным таблицам, которые составлены после предварительного вычисления HB по уравнению (7) для различных значений $HB_Э$, $d_Э$ и d.

2. Измерительные приборы, образцы

В настоящее время существует много приборов для определения твердости. Например, для определения твердости по Бринеллю – приборы ТШ-2, ТБ- 5004; по Виккерсу – ТП-2; по Роквеллу – ТР-5006. Универсальный прибор УПТ позволяет определять твердость всеми тремя методами.

В качестве примера показана схема полуавтоматического прибора для измерения твердости металлов методом Бринелля (рис. 6). Образец 1 кладется на предметный столик и подводится до соприкосновения с шариком 2. Усилие от грузов 4 через рычаги 3 передается на шарик 2. Автоматически удерживается в течении 10-15 с., затем производится автоматическая разгрузка.

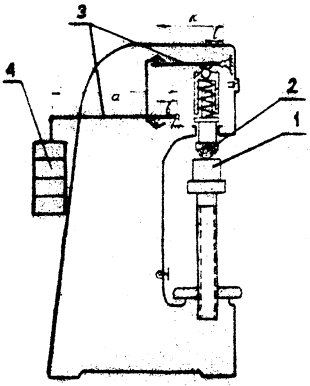


Рис. 6. Схема пресса Бринелля

Принципиальные схемы устройства приборов определения твердости по Виккерсу и Роквеллу аналогичны. Со схемами приборов и инструкциями по определению твердости, представленные в лаборатории механических испытаний кафедры сопротивления материалов, можно более подробно ознакомиться на рабочем месте при выполнении лабораторной работы.

Требования к образцам и приборам при определении твердости оговариваются соответствующими ГОСТами.

3. Экспериментальная часть

3. 1. Определение твердости по Бринеллю и Роквеллу

Стандарты предусматривают следующие основные требования при измерении твердости.

1) Поверхность испытуемого образца должна быть тщательно подготовлена и свободна от окалины и других посторонних веществ. При подготовке поверхности надо принять меры предосторожности против возможного наклепа или нагрева поверхностного слоя в результате механической обработки.

2) Испытуемый образец должен быть без короблений и лежать на столике прибора устойчиво. Необходимо обращать особое внимание на качество поверхности образца не только со стороны внедрения индентора, но и со свободной стороны, которой он кладется на предметный столик прибора – она должна быть ровной, без местных выступов (например, не допускается с этой стороны наличие даже мелких отпечатков от шарика, конуса или пирамиды). Это объясняется тем, что под действием нагрузки выступы будут сминаться, что приведет к кажущемуся уменьшению твердости в результате увеличения размера h. Требования этого пункта имеют особое значение только при определении твердости по Роквеллу.

Образец, с нанесенными тремя отпечатками, снимается с предметного столика пресса Бринелля. Измерение диаметров отпечатков производится с помощью специального отсчетного микроскопа на лабораторном столе. На рис. 7 показано изображение отпечатка, видимое в микроскоп (увеличение микроскопа обычно равно 24). Один из краев отпечатка необходимо совместить с нулевым штрихом шкалы и произвести отсчет по шкале с точностью до 1/2 деления. Видимое в микроскоп расстояние между большими штрихами соответствует одному миллиметру. Полученный размер диаметра отпечатка записывают сразу в миллиметрах. Так на рис. 7 имеем: d = 4,75 *мм*. Результаты измерения диаметров отпечатков рекомендуется записать в протоколе № 1, приведенном ниже.

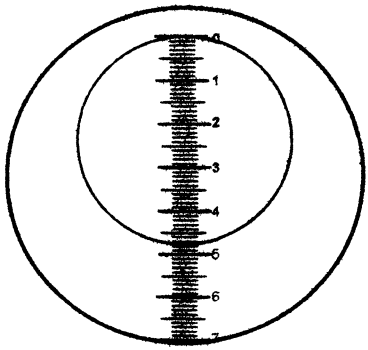


Рис 7. Изображение отпечатка, видимое в микроскоп

Протокол № 1

Определение твердости по Бринеллю

Тип прибора.....**Марка материала**.....

Диаметр шарика..... **Термическая обработка**.....

Нагрузка на индентор.....

Номер опыта	Диаметр отпечатка d, мм		Средний диаметр $d_{ср}$, мм	Число твердости HB	Среднее число твердости HB
	Первое измерение	Второе измерение			
1					
2					
3					

Определение HB по диаметру отпечатка предлагается провести с помощью таблиц или рассчитанных по формуле *1*.

Числа твердости *HRC* и *HRB* сразу читаются по шкалам индикатора и заносятся в протокол № 2, приведенный ниже. Запишите полученные вами числа твердости согласно требованиям ГОСТ.

Протокол № 2

Определение твердости по Роквеллу

Тип прибора..... **Марка материала**.....

Шкала прибора..... **Термическая обработка**.....

Нагрузка на индентор..... **Тип индентора**.....

Номер опыта	Число твердости HRC	Число твердости HRB	Среднее число твердости	
			HRC	HRB
1				
2				
3				

3. 2. Пересчет чисел твердости

Произведите пересчет полученных чисел твердости *HRC* и *HRB* в числа твердости по Бринеллю *HB* . Воспользуйтесь для этого номограммами $HRB = f(HB)$ и $HRC = f(HB)$, представленными на рис. 3 или используя приложение. Эти графики и приложение были получены на основании статистической обработки многочисленных результатов опытов с различными марками сталей.

3. 3. Связь твердости по Бринеллю с основными механическими характеристиками конструкционных материалов

По известному числу твердости материала можно ориентировочно определить его механические характеристики. Так, например, как показывают результаты многочисленных экспериментов, между числом твердости по Бринеллю и временным сопротивлением $\sigma_в$ для металлов существуют приближенные зависимости, простейшая из которых имеет вид:

$$\sigma_в = k \cdot HB, \qquad (8)$$

где k – коэффициент, определяемый опытным путем. Ниже приведены значения k для некоторых материалов.

Сталь (при НВ < 175)..... 3,4

Сталь (при НВ > 175)..... 3,6

Алюминий..... 4,0

Дюралюминий..... 3,7

Медь холоднокатаная..... 3,5

Медь отожженная..... 4,6

Для серого чугуна зависимость $\sigma_в = f(HB)$ менее надежна и более сложна.

$$\sigma_В = 1{,}7 \cdot НВ - 67. \qquad (9)$$

Для цветных металлов обычно отношение предела прочности от твердости находится в широких пределах и существенно зависит от степени предварительного наклепа:

$$\sigma_В = (3{,}5 - 5)\,НВ. \qquad (10)$$

В формулах (8), (9), (10) предел прочности $\sigma_в$ имеет размерность МПа, НВ – единицы твердости Бринелля.

В выводах по выполненной лабораторной работе отразить соответствие твердости марке стали, указать расхождение в процентах действительного и пересчитанного чисел твердости, отметить, какие характеристики прочности определены и их соответствие данной марки стали.

4. Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятию «твердость материала».
2. Перечислите способы определения твердости материала.
3. Имеется ли связь между числом твердости, найденными различными методами? Приведите ориентировочно эти зависимости.
4. Имеется ли связь между твердостью материала и его механическими характеристиками? Приведите ориентировочно эти зависимости.

5. Расскажите последовательность операций и основные требования ГОСТ при определении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

6. Расскажите, пользуясь схемой, устройство пресса Бринелля.

7. Каковы форма и размеры индентора (наконечника) при определении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

8. Каковы размерности чисел твердости, найденных методами Бринелля, Роквелла и Виккерса.

9. Приведите зависимости между временным сопротивлением для углеродистой стали и ее твердостью по Бринеллю.

10. Приведите зависимость между $\sigma_в$ и HB для цветных металлов.

11. Что понимается под твердостью по Роквеллу ?

12. Пользуясь схемой, расскажите устройство прибора Роквелла.

13. Перечислите основные требования ГОСТ при определении твердости по Роквеллу.

14. Приведите (ориентировочно) твердость среднеуглеродистой отожженной и закаленной стали по HRB, HRC и HB.

15. Укажите размерность чисел твердости, найденных различными методами.

16. По какой формуле подсчитать твердость по Виккерсу? Какую форму имеет индентор при определении твердости методом Виккерса?

17. В чем сущность метода определения твердости по Шору?

18. В чем сущность определения твердости методом двойного отпечатка (по Польди)?

5. Правила по технике безопасности и эксплуатации оборудования

1. Запрещается приступать к работе до получения инструктажа по технике безопасности и росписи в журнале.
2. Необходимо помнить, что напряжение в сети 380 Вольт. Поэтому не следует касаться металлических частей оборудования без необходимости.
3. Перед началом работы следует убедиться в надежности заземления.
4. При создании предварительной нагрузки в 100 Н на приборе Роквелла категорически запрещается переводить малую стрелку индикатора за черный штрих, это влечет за собой поломку прибора.

Список рекомендуемых источников

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965 – 856 с.

2. Авдеев В. А. Техника определения механических свойств материалов. – М. Машиностроение, 1965 – 488 с.

3. Тимощук Л. Т. Механические испытания металлов. – М.: Металлургия. 1971 – 224 с.

4. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов / Часть 2. Механические испытания. Конструкционная прочность // Изд. 3-е. – М.: Машиностроение, 1974 –368 с.

5. Гудков А. А., Славский Ю. И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1982 – 167 с.

6. Справочник. Инженерный журнал № 1. – М.: Машиностроение, 1999. С. 2–3.

7. Справочник. Инженерный журнал № 2. – М.: Машиностроение, 1999. С. 2–3.

Сопоставление чисел твердости металлов и сплавов, измеренных различными методами: Бринелля, Виккерса и Роквелла

HB, HV	HRB	$\sigma_в$, МПа	HB, HV	HRC	$\sigma_в$, МПа
100	52.4	333	245	21.2	815
105	57.5	350	250	22.1	835
110	60.9	362	255	23.0	855
115	64.1	382	260	23.9	865
120	67,0	402	265	24.8	880
125	69.8	410	270	25.6	900
130	72.4	430	275	26.4	910
135	74.7	450	280	27.2	930
140	76,6	470	285	28,0	950
145	78,3	480	290	28,8	970
150	79.9	500	295	29.5	980
155	81,4	520	300	30,2	1000
160	82,8	530	310	31,6	1030
165	84.2	550	320	33.0	1060
170	85,6	565	330	34,2	1090
175	87,0	580	340	35,3	1120
180	88,3	600	350	36,3	1150
185	89,5	620	360	37,2	1180
190	90,6	640	370	38,1	1200
195	91,7	650	380	38,9	1230
200	92,8	665	390	39,7	1260
205	93.8	685	400	40.5	1290
210	94,8	695	410	41,3	1305
215	95.7	715	420	42.1	1335
220	96,6	735	430	42,9	1365
225	97,5	745	440	43,7	1385
230	98.4	765	450	44,5	1410
235	99,2	785	460	45,3	1440
240	100	795	470	46,1	1480