

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия**

Кафедра «Технический сервис и общеинженерные дисциплины»

**С. В. Агафонов, М. В. Охотин**

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ**

Учебно–методическое пособие

Иркутск 2014



УДК 620.22+621.7./9+669.018:620.178

А 235

Агафонов С. В., Охотин М. В.  
А 235 Материаловедение и технология конструкционных материалов. Определение твёрдости металлических сплавов: учеб. – метод. пособие. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2014. – 19 с.

Рекомендовано к печати научно-методическим советом инженерного факультета Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии (протокол № 5 от 30 января 2014 г.).

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент **П. И. Ильин**, кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения» инженерного факультета ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии;

кандидат технических наук, доцент **Н.Г. Филиппенко**, кафедра «Технологии ремонта транспортных средств и материаловедения» факультета транспортные системы ФГБОУ ВПО Иркутского государственного университета путей сообщения.

Даны общие сведения об испытаниях на твёрдость. Приведён порядок измерения твёрдости по Бринеллю и Роквеллу.

Учебно-методическое пособие подготовлено на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта и программы дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов», предназначено для бакалавров обучающихся по направлениям подготовки 110800 – «Агроинженерия», 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной и заочной формы обучения, 051000 – «Профессиональное обучение» в качестве пособия к лабораторно-практическим занятиям и для самостоятельной работы.

© Агафонов С.В., Охотин М.В., 2014  
© Издательство ИрГСХА, 2014

# **1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ**

## **Цель работы**

1 Усвоить понятие «твёрдость металлов» и изучить методику её определения различными методами.

2 Научиться самостоятельно, определять твёрдость металлов на твердомерах Бринелля и Роквелла.

## **Оборудование и материалы**

Твердомеры Бринелля и Роквелла, лупа для измерения диаметров отпечатков шарика, шлифовальная бумага для зачистки поверхностей образцов, отожжённые образцы из сталей марок 20 (0,20 %С), 45 (0,45 %С), У10 (1,0 %С), образец из закалённой стали 45.

## **Задание**

1 Ознакомиться с устройством и принципом действия твердомеров Бринелля и Роквелла.

2 На приборе Бринелля произвести измерения твёрдости образцов из сталей 20, 45 и У10.

3 По формуле (4) рассчитать твёрдость испытываемых образцов или определить твёрдость образцов по приложению А.

4 Используя твердомер Роквелла, определить твёрдость закалённой стали 45.

5 Сравнить значение твёрдости по Роквеллу со значением твёрдости по Бринеллю по приложению Б.

## Отчетность

- 1 Дать краткую характеристику понятия «твёрдость металла».
- 2 Составить протоколы результатов испытаний согласно формам, приведённым в приложении В.
- 3 Построить график зависимости твёрдости стали от содержания углерода.
- 4 По числу твёрдости *НВ* определить предел прочности при растяжении ( $\sigma_B$ ) испытываемых образцов.
- 5 По приложению Б перевести значения твёрдости по Роквеллу в значения твёрдости по Бринеллю.

## 2 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Испытание твёрдости является технологической пробой и часто служит основным контролем характеристики механических свойств металлов.

Твёрдость – это способность материала противодействовать вдавливанию в него более твёрдого металлического или алмазного наконечника (индентора).

Твёрдость измеряют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника, изготовленного из малодеформирующегося материала (твёрдая закалённая сталь, алмаз, сапфир или твёрдый сплав), имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы.

Существует несколько способов измерения твёрдости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Твёрдость можно измерять вдавливанием наконечника (способ вдавливания), царапанием поверхности (способ царапания), ударом или же по отскоку наконечника – шарика.

Твёрдость, определенная царапанием, характеризует сопротивление разрушению (для большинства металлов путем среза).

Твёрдость, определенная по отскоку, характеризует упругие свойства.

Твёрдость, определенная вдавливанием, – сопротивление пластической деформации.

Наибольшее применение получило измерение твёрдости вдавливанием. В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником или вблизи него, пластически деформируются.

После снятия нагрузки остаётся отпечаток.

Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объёме, окружённом недеформированным металлом. В таких условиях испытания, близких к всестороннему неравномерному сжатию, возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна по сравнению с получаемыми при других видах механических испытаний (на растяжение, изгиб, кручение, сжатие).

Поэтому при измерении твёрдости вдавливанием пластическую деформацию испытывают не только пластичные, но также металлы (например, чугун), которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются хрупко почти без макроскопически заметной пластической деформации. Этот вид пластических испытаний не связан с разрушением материала и, кроме того, в большинстве случаев не требует изготовления специальных образцов. Замер твёрдости осуществляется на деталях и заготовках, которые после испытания, как правило, могут быть использованы по своему назначению.

В зависимости от вида движения наконечника все методы измерения твёрдости делятся на *статические* и *динамические*. Наибольшее распространение получили статические методы.

Статическим методом измерения твёрдости называется такой, при котором наконечник медленно и непрерывно вдавливается в испытываемый материал с определенной силой.

В зависимости от величины приложенной нагрузки статические методы определения твёрдости подразделяются на две группы:

- измерения макротвёрдости, осуществляемые при нагрузках, превышающих 30 Н;
- измерения микротвёрдости, проводимые при нагрузках до 2 Н.

Наибольшее распространение при измерениях макротвёрдости получили методы Бринелля и Роквелла, отличающиеся друг от друга формой используемых наконечников и величиной действующих на них сил.

### 3 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ

Твёрдость по Бринеллю (ГОСТ 9012-59) определяется вдавливанием стального закалённого шарика определенного диаметра в испытываемый материал. Вдавливание происходит под действием заданной нагрузки  $P$  в течение определённого времени. Время действия нагрузки выбирается таким образом, чтобы процессы пластического течения металла успели пройти до её снятия. Практически это происходит за 10–15 с для чёрных металлов (таблица 1).

Таблица 1 – Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия

Твёрдость по Бринеллю <i>HB, HBW</i>	Продолжительность выдержки, с
До 10	180
Св. 10 » 35	120
» 35 » 100	30
» 100	10–15
Примечание – <i>HB</i> (стальной шарик), <i>HBW</i> (шарик из твёрдого сплава).	

В результате пластической деформации, происходящей при вдавливании шарика, на испытываемой поверхности возникает отпечаток сферической формы.

Схема испытания на твёрдость по Бринеллю дана на рисунке 1.

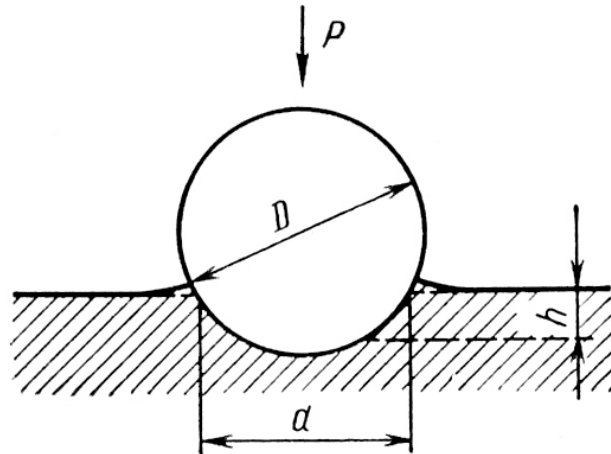


Рисунок 1 – Схема испытания на твёрдость по способу Бринелля

Отношение нагрузки  $P$ , действующей на шарик, к площади поверхности полученного сферического отпечатка (шарового сегмента)  $F$  даёт число твердости по Бринеллю, обозначаемое  $HB$

$$HB = \frac{P}{F} . \quad (1)$$

Площадь поверхности сферического отпечатка  $F$ , измеряемая в  $\text{мм}^2$

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

где  $D$  – диаметр вдавливаемого шарика, мм;

$h$  – глубина отпечатка, мм.

Так как удобнее измерять не глубину отпечатка, а его диаметр ( $d$ , мм), то, выражая глубину отпечатка через его диаметр ( $d$ ) и диаметр шарика ( $D$ ), получаем

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

а число твёрдости по Бринеллю при применении стального шарика и шарика из твёрдого сплава будет характеризоваться формулой

$$HB (HBW) = \frac{0,102 \cdot 2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (4)$$

где  $P$  – нагрузка, Н.

$$HB (HBW) = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (5)$$

где  $P$  – нагрузка, кгс.

Таким образом, по формулам 4 или 5 можно определить число твёрдости по Бринеллю.

Однако этих длительных вычислений на практике не делают, а определяют твёрдость исходя из полученного диаметра отпечатка по таблице (приложение А), составленной расчётным путём по формулам 4 или 5.

Нагрузку  $P$  выбирают в зависимости от качества испытываемого материала по формуле

$$P = KD^2, \quad (6)$$

где  $K$  – соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика, равное 30; 15; 10; 5; 2,5; 1 и измеряемое Н/мм<sup>2</sup> (кгс/мм<sup>2</sup>)

Твёрдость по Бринеллю обозначается символом  $HB (HBW)$ , которому предшествует числовое значение твёрдости из трёх значений цифр, и после символа указывается диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 с:



- **250 HB 5/750**, твёрдость по Бринеллю 250, определённая при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усилии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;
- **575 HBW 2,5/187,5/30**, твёрдость по Бринеллю 575, определённая при применении шарика из твёрдого сплава диаметром 2,5 мм, при усилии 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с.

При определении твёрдости стальным шариком или шариком из твёрдого сплава диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твёрдостью по Бринеллю обозначают только числовым значением твёрдости и символом *HB* или *HBW*: например, 185 *HB*, 600 *HBW*.

Наиболее распространёнными стандартными условиями при определении твёрдости по Бринеллю являются:

- нагрузка  $P = 3000$  кгс (29420 Н),
- диаметр шарика 10 мм,
- выдержка под нагрузкой образца или изделия 10 – 15 с.

При твёрдости металлов *менее* 450 единиц для измерения твёрдости применяют стальные шарики или шарики из твёрдого сплава, при твёрдости металлов *более* 450 единиц – шарики из твёрдого сплава.

Значение  $K$  (соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика) выбирают в зависимости от металла и его твёрдости в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Значение  $K$  (соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика)

Материал	Твёрдость по Бринеллю	$K$
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.)	До 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на её основе, лёгкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	От 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие металлы	До 20	1

Усилие  $P$  в зависимости от значения  $K$  и диаметра  $D$  устанавливаются по таблице 3.

Таблица 3 – Значение усилия  $P$  в зависимости от значения  $K$  и диаметра  $D$

Диаметр шарика, мм	Нагрузка $P$ , Н (кгс), для $K$					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)	-	98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	98,807 (1)
2,0	1177 (120)	-	392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,5	1839 (187,5)	-	612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,0	7355 (750)	-	2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10,0	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	980,7 (100)

Между пределом прочности ( $\sigma_B$ ) и числом твёрдости  $HV$  различных металлов существует закономерность.

*Сталь с твердостью HV*

120–175 . . . . .  $\sigma_B \approx 0,34HV$

175–450 . . . . .  $\sigma_B \approx 0,35HV$

*Медь, латунь, бронза*

отожжённая . . . . .  $\sigma_B \approx 0,55HV$

наклепанная . . . . .  $\sigma_B \approx 0,40HV$

*Алюминий и алюминиевые сплавы с твёрдостью HV*

20–45 . . . . .  $\sigma_B \approx (0,33 \div 0,36)HV$

*Дюралюмин*

отожжённый . . . . .  $\sigma_B \approx 0,36HV$

после закалки и старения . . . . .  $\sigma_B \approx 0,35HV$

Эти зависимости широко используются в производстве при контроле деталей и полуфабрикатов.

### **Порядок определения твёрдости на приборе Бринелля**

Определение твёрдости на приборе Бринелля производят в определённом порядке.

1 Поверхность испытываемого образца зачищают наждачной бумагой.

2 Зачищенный образец устанавливают на столике прибора. Вращением маховика по часовой стрелке образец поднимают к шару и зажимают до отказа.

3 При включении электродвигателя нагрузка прикладывается плавно. После приложения нагрузки и заданной выдержки переключатель автоматически изменяет направление вращения электродвигателя. При снятии нагрузки электродвигатель автоматически выключается.

4 Специальной лупой измеряют диаметр полученного отпечатка (рисунок 2). Испытания повторяют трижды и за результат принимают среднее арифметическое из трёх испытаний.

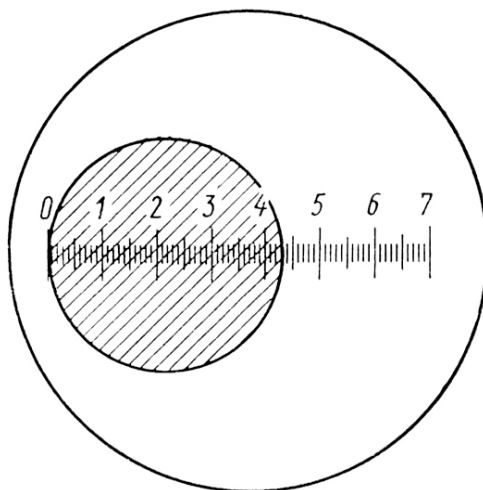


Рисунок 2 – Измерение по шкале лупы диаметра отпечатка

5 Твёрдость по Бринеллю определяют по формулам (4 или 5) или по таблице (приложение А).

#### 4 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Твёрдость по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) определяется путём вдавливания наконечника в испытываемый образец под действием двух последовательных нагрузок (рисунок 3) предварительной ( $P_0$ ) и основной ( $P_1$ )

$$P = P_0 + P_1. \quad (7)$$

Предварительная нагрузка  $P_0$  во всех случаях равна 100 Н ( $1 \text{ Н} \approx 0,1 \text{ кгс}$ ).

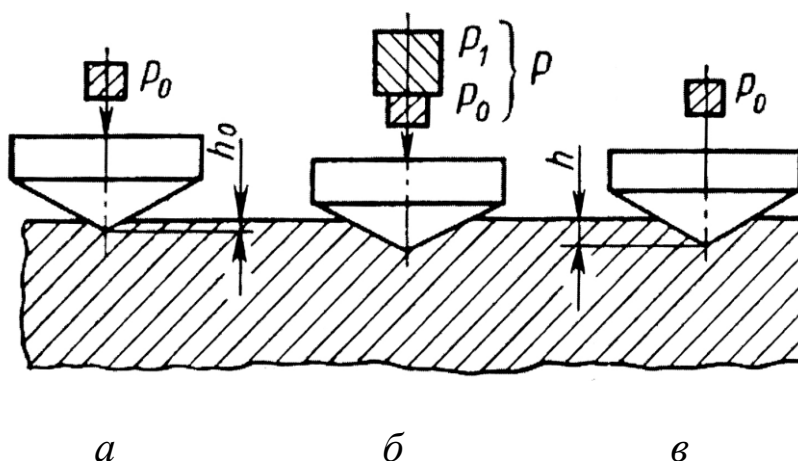


Рисунок 3 – Схематическое изображение последовательности приложения нагрузки при измерении твёрдости по Роквеллу:

- a* – предварительная;
- б* – предварительная и основная (общая);
- в* – предварительная после снятия основной

Суммарная нагрузка  $P$  может быть выражена числами 600, 1100 и 1500 Н. Разность глубины, на которую проникает наконечник под действием двух нагрузок (рисунок 3в), характеризует твёрдость по Роквеллу. Твёрдость, измеренная по методу Роквелла, отсчитывают по индикатору твердомера в условных единицах, не имеющих размерности, обозначаемых символом  $HR$ , за которым следует буква, указывающая шкалу отсчета чисел твёрдости и само число.

Наиболее распространёнными являются следующие комбинации наконечников и нагрузок.

**Шкала А.** Наконечник с алмазным конусом, общая нагрузка  $P$  равняется 600 Н ( $P_0 = 100$  Н;  $P_1 = 500$  Н).

Эта шкала применяется для испытания сверхтвёрдых сплавов, твёрдого тонкого листового металла, а также тонких твёрдых диффузионных поверхностных слоев и покрытий.

Отсчеты чисел твёрдости по этой шкале обозначаются символом  $HRA$  и числом твёрдости, например  $HRA 70$ .

**Шкала С.** Наконечник с алмазным конусом, общая нагрузка  $P$  равняется 1500 Н.

Эта шкала применяется при испытании твердости сталей, подвергнутых упрочняющей термической обработке.

Отсчет чисел твёрдости по шкале  $C$  обозначается символом  $HRC$  и числом твёрдости, например  $HRC 60$ .

**Шкала В.** Наконечник со стальным (закалённым) шариком диаметром 1,588 мм, общая нагрузка  $P$  равняется 1000 Н.

Эта шкала применяется при испытании сталей, не подвергнутых упрочняющей термической обработке, а также цветных сплавов: бронз, латуней и др.

Отсчёты твёрдости по шкале  $B$  обозначаются символом  $HRB$  и числом твёрдости, например  $HRB 80$ .

Индикатор твердомеров типа Роквелла имеет две шкалы: наружную (черную) и внутреннюю (красную).

По наружной шкале производят измерения твёрдости с применением алмазного наконечника. В зависимости от выбранной нагрузки на конус (600 Н или 1500 Н) наружная шкала может быть соответственно шкалой *A* или *C*.

Внутренняя шкала *B* смещена относительно нулевого деления наружной шкалы на 30 делений в направлении, противоположном движению часовой стрелки. Поэтому нулевой штрих черной шкалы совпадает с 30-м штрихом красной.

Определение твёрдости на твердомере типа Роквелла имеет широкое применение, т. к. этот прибор даёт возможность испытывать мягкие, твёрдые, а также тонкие материалы:

- отпечатки от конуса или шарика очень малы и поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи;
- испытание легко выполнимо и занимает мало времени (несколько секунд);
- не требуется никаких измерений и число твёрдости читается прямо на шкале индикатора.

Значения твёрдости по Роквеллу могут быть переведены в значения твёрдости по Бринелю (приложение Б).

### **Порядок определения твёрдости на приборе Роквелла**

1 Шкалу – испытания (*A*, *B* и *C*) и соответствующие ей условия испытания (вид наконечника, общая нагрузка) выбирают в зависимости от интервала твёрдости испытываемого материала по таблице 4.

2 Образец тщательно зачищается и устанавливается на стол прибора, который путём плавного вращения маховика по часовой стрелке поднимают до соприкосновения образца с наконечником. При этом надо помнить, что соприкосновение образца с наконечником должно происходить при замедленном вращении маховика.

Такая осторожность необходима для предотвращения поломки наконечника, особенно алмазного.

Таблица 4 – Выбор нагрузки и наконечника для испытания твёрдости по Роквеллу

Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твёрдости по Роквеллу	Пределы измерения в единицах твёрдости по Роквеллу
<i>B</i>	Стальной шарик	1000	<i>HRB</i>	25–100
<i>C</i>	Алмазный конус	1500	<i>HRC</i>	20–67
<i>A</i>	»	600	<i>HRA</i>	75–85
Примечание – Для испытания неотчетливых деталей твёрдостью <i>HRC</i> 20–50 допускается применение наконечника из твёрдого сплава.				

3 При дальнейшем вращении маховика шарик или алмазный конус начинает вдавливать в образец. Вращение маховика останавливается тогда, когда малая стрелка индикатора дойдёт до красной точки.

Такое положение малой стрелки фиксирует момент действия на образец предварительной нагрузки  $P_0 = 100$  Н.

После этого нулевой штрих наружной (черной) шкалы совмещают с большой стрелкой.

4 Нажимают клавишу, связанную с электродвигателем, происходит плавное приложение основной нагрузки. Одновременно с опусканием грузов поворачивается большая стрелка индикаторного прибора. При этом стрелка вращается в обратном направлении и останавливается против числа твёрдости, соответствующего твёрдости испытываемого образца (например *HRC* 60).

## Приложение А

### Определение чисел твёрдости по Бринеллю

Диаметр отпечатка $d_{10}$ , мм	Число твёрдости <i>HB</i> при нагрузке $P$ , Н			Диаметр отпечатка $d_{10}$ , мм	Число твёрдости <i>HB</i> при нагрузке $P$ , Н		
	$300 D^2$	$100 D^2$	$25 D^2$		$300 D^2$	$100 D^2$	$25 D^2$
1	2	3	4	1	2	3	4
2,90	444	-	-	4,50	179	59,5	14,9
2,95	429	-	-	4,55	174	58,1	14,5
3,00	415	-	34,6	4,60	170	56,8	14,2
3,05	401	-	33,4	4,65	167	55,5	13,9
3,10	388	129	32,3	4,70	163	54,3	13,6
3,15	375	125	31,3	4,75	159	53,0	13,3
3,20	363	121	30,3	4,80	156	51,9	13,0
3,25	352	117	29,3	4,85	152	50,7	12,7
3,30	341	114	28,4	4,90	149	49,6	12,4
3,35	331	110	27,5	4,95	146	48,6	12,1
3,40	321	107	26,7	5,00	143	47,5	11,9
3,45	311	104	25,9	5,05	140	46,5	11,6
3,50	302	101	25,2	5,10	137	45,5	11,4
3,55	293	97,7	24,4	5,15	134	44,6	11,1
3,60	285	95,0	23,7	5,20	131	43,7	10,9
3,65	277	92,3	23,1	5,25	128	42,8	10,7
3,70	269	89,7	22,4	5,30	126	41,9	10,5
3,75	262	87,2	21,8	5,35	123	41,0	10,3
3,80	255	84,9	21,2	5,40	121	40,2	10,1
3,85	248	82,6	20,6	5,45	118	39,4	9,85
3,90	241	80,4	20,1	5,50	116	38,6	9,66
3,95	235	78,3	19,6	5,55	114	37,9	9,46
4,00	229	76,3	19,1	5,60	111	37,1	9,28
4,05	223	74,3	18,6	5,65	109	36,4	9,10
4,10	217	72,4	18,1	5,70	107	35,7	8,92
4,15	212	70,6	17,6	5,75	105	35,0	8,75
4,20	207	68,8	17,2	5,80	103	34,3	8,58
4,25	201	67,1	16,8	5,85	101	33,7	8,42
4,30	197	65,5	16,4	5,90	99,2	33,1	8,26
4,35	192	63,9	16,0	5,95	97,3	32,4	8,11
4,40	187	62,4	15,6	6,00	95,5	31,8	7,96
4,45	183	60,9	15,2				

Примечание – Диаметры отпечатков даны для шарика диаметром 10 мм. Для определения по таблице числа твёрдости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм – на 4.



## Приложение Б

### Соотношение чисел твёрдости по Бринеллю и Роквеллу

Твёрдость по Бринеллю*		Твёрдость по Роквеллу			Твёрдость по Бринеллю*		Твёрдость по Роквеллу		
Диаметр отпечатка	<i>HB</i>	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>HRA</i>	Диаметр отпечатка	<i>HB</i>	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>HRA</i>
2,20	780	72	-	84	4,00	229	20	100	61
2,30	712	68	-	82	4,10	211,7	17	98	60
2,40	653	64	-	80	4,20	207	14	95	59
2,50	601	60	-	78	4,30	197	12	93	58
2,60	555	56	-	77	4,40	187	9	91	57
2,70	514	52	-	75	4,50	179	7	90	56
2,80	477	49	-	74	4,60	170	4	88	55
2,90	444	47	-	73	4,70	163	2	86	53
3,00	415	43	-	72	4,80	156	0	84	52
3,10	388	41	-	71	4,90	149	-	82	-
3,20	363	39	-	70	5,00	143	-	80	-
3,30	341	36	-	68	5,10	137	-	78	-
3,40	321	33	-	67	5,20	131	-	76	-
3,50	302	31	-	66	5,30	126	-	74	-
3,60	285	29	-	65	5,40	121	-	72	-
3,70	269	27	-	64	5,50	116	-	70	-
3,80	255	25	-	63	5,60	111	-	67	-
3,90	241	23	102	62	5,70	107	-	65	-

\* Диаметр шарика 10 мм; нагрузка 3000 кгс (29420 Н).

## Приложение В

Таблица В.1 – Протокол испытания на твёрдость по Бринеллю

Марка стали	Диаметр отпечатка, мм	Твёрдость <i>HB</i>	Предел прочности, $\sigma_B$	Структура
20 45 У10				

Таблица В.2 – Протокол испытания на твёрдость по Роквеллу

Материал образца	Вид термической обработки	Твёрдость по <i>HRC</i>	Твёрдость по <i>HB</i> , (перевод)
45	Закалка		
45	Отпуск		

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бригеллю.
- 2 ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Роквеллу.
- 3 Бондаренко Г.Г. Материаловедение: учеб. для бакалавров/ Г.Г. Бондаренко, Т.А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – М. : Изд-во «Юрайт», 2012. – 359 с.
- 4 Волков Г.М. Материаловедение: учеб. для студ. учеб. заведений / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 400 с.
- 5 Оськин В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. – М. : КолосС, 2007. – Кн.1. – 447 с.
- 6 Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 646 с.
- 7 Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В. А. Оськин [и др.] ; под ред. В. А. Оськина, В. Н. Байкаловой. – М. : КолосС, 2007. – 318 с.

Учебное издание

**Агафонов Сергей Викторович  
Охотин Михаил Васильевич**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ**

**Учебно-методическое пособие**

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР №070444 от 11.03.98 г.  
Подписано в печать XX.XX.XX. Формат 60x84/16  
Усл. печ. л. 1,2 Тираж 50

---

Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодёжный