

## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ О.Г. Локтионова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

## **АТТЕСТАЦИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ИСПЫТАНИЯ**

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы для студентов направления подготовки 15.03.01;  
15.04.01 Машиностроение

Курск 2019

УДК 621.31

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» *Н.И.Иванов*

**Аттестация сварочных материалов. Испытания:** методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 15.03.01; 15.04.01 Машиностроение / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.И.Яцун. – Курск, 2018. – 20 с.: ил. 6, табл. 6. – Библиогр. б: с. 20.

Содержат сведения о видах испытаний при аттестации сварочных материалов (СМ), о методах исследования механических свойств наплавленного металла, металла шва, сварного соединения.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01; 15.04.01 Машиностроение.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. Уч.–изд.л . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>ЦЕЛЬ РАБОТЫ</b>	<b>5</b>
<b>ОБОРУДОВАНИЕ</b>	<b>5</b>
<b>ЗАДАНИЕ</b>	<b>5</b>
<b>1 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ И УПРОЧНЕНИЯ</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Электроды для наплавки</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Электроды для упрочнения</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Требования к образцу</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Твердость металлов</b>	<b>7</b>
<b>2 ВАРИАНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Факторы, определяющие вариант измерения</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Особенности методики Бринелля</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Особенности методики Роквелла</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Характеристики методики Виккерса</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Способы перехода между шкалами</b>	<b>13</b>
<b>3 СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Измерение твердости методом Бринелля</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Измерение твердости методом Роквелла</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Измерение твердости по Виккерсу</b>	<b>18</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА</b>	<b>19</b>
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</b>	<b>19</b>
<b>Список литературы</b>	<b>20</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Практические испытания проводятся только при положительных результатах общих испытаний [1].

**Практические испытания.** Сварочные работы при практических испытаниях выполняют сварщики, аттестованные в соответствии с требованиями "Правил аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства Госгортехнадзора России" с квалификацией не ниже 5 разряда. Для выполнения контрольных сварных швов и наплавов следует использовать аттестованное сварочное оборудование, снабженное измерительными приборами, и поверенные приборы для измерения температуры предварительного и сопутствующего подогрева при сварке.

**Специальные испытания** осуществляют при сварке контрольных образцов (пластин или труб) из стали марки и прочностного класса, соответствующей типу аттестуемого сварочного материала, и проводятся на наплавленном металле и металле шва сварного соединения в соответствии с требованиями НД для групп технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах. Контрольные сварные швы и наплавки должны выполнять сварщики, аттестованные на данный способ сварки в соответствии с требованиями "Правил аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства" Госгортехнадзора России с квалификацией не ниже 5 разряда. СМ (покрытые электроды, порошковые проволоки, флюсы и т.д.) должны поступать на сварку после прокалки, либо без прокалки при положительных результатах определения содержания в них влаги при общих испытаниях. Контролируемые параметры при специальных испытаниях приведены в [1].

Контролируемые параметры при механических испытаниях: наплавленный металл, металл шва, сварное соединение:

1. временное сопротивление на разрыв,  $\text{Н/мм}^2$  ;
2. относительное удлинение, % ;
3. статический изгиб, град.;
4. ударная вязкость,  $\text{Дж/ см}^2$  ;

5. твердость, МПа.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучить сущность определения твердости различными методами.

### ОБОРУДОВАНИЕ:

1. Приборы для измерения твердости:
  - по Викерсу, прибор ПМТ-3, пирамида, груз  $m=500$  г;
  - по Роквеллу, прибор ТК-2, шарик  $\varnothing 10$  мм, усилие 3 т;
  - по Бринеллю, прибор МПБ-2 – измерительный микроскоп, лупа.
2. Образец наплавленного шва.
3. Электрод для наплавки SD-11 - кобальтовый сплав, твердость 51 HRC.

### ЗАДАНИЕ.

- 1) В соответствии с маркой стали выбрать возможный способ измерения твердости до и после термообработки.
- 2) Написать протокол измерения твердости стали до и после термообработки выбранным способом в соответствии с ГОСТ для конкретной марки стали (по вариантам).

## 1 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ И УПРОЧНЕНИЯ

### 1.1 Электроды для наплавки



**SD-01**

Никелевый сплав.  
Твердость 35 HRC.



**SD-11**

Кобальтовый сплав.  
Твердость 51 HRC.



**SD-21**

Железный сплав.  
Твердость 60 HRC.

Рис. В1 Электроды для наплавки

## 1.2 Электроды для упрочнения

Применяя электроды из карбида вольфрама, карбида титана, борида титана, карбида хрома, карбида ванадия можно наносить твердые упрочняющие покрытия с целью выполнения превентивного технического обслуживания различных компонентов машин, инструмента, штампов и пресс-форм. Материалы электродов для упрочнения - это различные металлические компаунды, состоящие из карбидов, боридов, и нитридов, а также металлокерамические компаунды с содержанием молибдена, никеля, титана, тантала, циркония, ниобия, платины, золота, и др.



### **WTC-90**

Карбид вольфрама.  
Твердость 2000 НМV.



### **ТС-01**

Карбид титана.  
Твердость 3200 НМV.



### **ТВ-02**

Борид титана.  
Твердость 2600 НМV.



### **ZB-01**

Борид циркония.  
Твердость 2200 НМV.

Рис. В2 Электроды для упрочнения

## 1.3 Требования к образцу

В соответствии с требованиями ГОСТов, испытываемые детали должны соответствовать следующим характеристикам:

1. Заготовка должна быть ровная, твердо лежать на столе твердомера, ее края должны быть гладкими или тщательно обработаны.
2. Поверхность должна иметь минимальную шероховатость. Должна быть отшлифована и очищена, в том числе с помощью химических составов. Одновременно, во время процессов механической обработки, важно предупредить образование наклепа и повышения температуры обрабатываемого слоя.
3. Деталь должна соответствовать выбранному методу определения твердости по параметрическим свойствам.

Выполнение первичных требований – обязательное условие точности измерений.

#### **1.4 Твердость металлов**

Твердость металлов - важное основополагающее механическое свойство, определяющее их некоторые остальные механические и технологические особенности, результаты предыдущих процессов обработки, влияние временных факторов, возможные условия эксплуатации. Выбор методики исследования зависит от ориентировочных характеристик образца, его параметров и химического состава [2].

ПОСМОТРИТЕ ФИЛЬМ <https://youtu.be/tJsDHGPNuG0>  
<https://youtu.be/tJsDHGPNuG0>

## **2 ВАРИАНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Показателем является величина, которая называется числом твердости. Существуют различные методы измерения твердости металлов. Наиболее точные исследования заключаются в использовании различных видов вычисления, инденторов и соответствующих твердомеров.

Метод Бринелля: суть работы аппарата – вдавливание шарика в исследуемый металл или сплав, вычисление диаметра отпечатка и последующее математическое вычисление механического параметра.

Метод Роквелла: используются шарик или алмазный конусный наконечник. Значение отображается на шкале или определяется расчётно.

Метод Виккерса: наиболее точное измерение твердости металла с применением алмазного пирамидального наконечника. Для определения параметрических соответствий между показателями разных способов измерения для одного и того же материала существуют специальные формулы и таблицы (Табл. 2).

### **2.1 Факторы, определяющие вариант измерения**

В лабораторных условиях, при наличии необходимого ассортимента оборудования, выбор способа исследования осуществляется в зависимости от определенных характеристик заготовки.

1. Ориентировочное значение механического параметра.
    - для конструкционных сталей и материалов с небольшой твердостью до 450-650 НВ применяют метод Бринелля;
    - для инструментальных, легированных сталей и других сплавов – Роквелла;
    - для твердых сплавов – Виккерса.
  2. Особо маленькие и тонкие детали обследуются с помощью твердомера Виккерса.
  3. Толщина металла в месте замера, в частности, цементированного или азотированного слоя.
- Все требования - в соответствии с ГОСТ.

## **2.2 Особенности методики Бринелля**

Испытания на твердость металлов и сплавов с помощью твердомера Бринелля (Рис. 1) проводятся со следующими особенностями:

1. Индентор – шарик из легированной стали или из карбидовольфрамового сплава диаметром 1; 2; 2,5; 5 или 10 мм (ГОСТ 3722-81).
2. Продолжительность статического вдавливания: для чугуна и стали – 10-15 с., для цветных сплавов – 30 с., также возможна длительность в 60 с., а в некоторых случаях – 120 и 180 с.
3. Граничное значение механического параметра: 450 НВ при измерении стальным шариком; 650 НВ при использовании твердого сплава.
4. Возможные нагрузки. С помощью входящих в комплект грузов корректируется фактическая сила деформации на испытуемый образец. Их минимальные допустимые значения: 153,2; 187,5; 250 Н; максимальные – 9807, 14710, 29420 Н (ГОСТ 23677-79). С помощью формул, в зависимости от диаметра выбранного шарика и от испытуемого материала, можно вычислить соответствующее допустимое усилие вдавливания.



## Допустимое усилие вдавливания

Тип сплава	Математическое вычисление нагрузки
Сталь, сплавы никеля и титана	$30d^2$
Чугун	$10d^2, 30d^2$
Медь и медные сплавы	$5d^2, 10d^2, 30d^2$
Легкие металлы и сплавы	$2,5d^2, 5d^2, 10d^2, 15d^2$
Свинец, олово	$d^2$

Пример обозначения: 400НВ10/1500/20, где 400НВ – твердость металла по Бринеллю; 10 – диаметр шарика, 10 мм; 1500 – статическая нагрузка, 1500 кгс; 20 – период осуществления вдавливания, 20 с.

Для установления точных цифр рационально исследовать один и тот же образец в нескольких местах, а общий результат определять путем нахождения среднего значения из полученных.



Рис. 1 Прибор для измерения твердости по Бринеллю

### 2.2.1 Определение твердости по методу Бринелля

Процесс исследования протекает в следующей последовательности:

1. Проверка детали на соответствие требованиям (ГОСТ 9012-59, гост 2789).
2. Проверка исправности аппарата.

3. Выбор необходимого шарика, определение возможного усилия, установка грузов для его формирования, периода вдавливания.
4. Запуск твердомера и деформация образца.
5. Измерение диаметра углубления.
6. Эмпирическое вычисление.

$$HB=F/A,$$

где F – нагрузка, кгс или Н;

A – площадь отпечатка, мм<sup>2</sup>.

$$HB=(0,102*F)/(\pi*d*h),$$

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

Твердость металлов, измеренная этим способом, имеет эмпирическую связь с вычислением параметров прочности. Метод точен, особенно для мягких сплавов. Является основополагающим в системах определения значений этого механического свойства

### **2.3 Особенности методики Роквелла**

Этот способ измерения был изобретен в 20-х годах XX века. Он более автоматизирован, чем предыдущий. Применяется для более твердых материалов.

Основные его характеристики (ГОСТ 9013-59; гост 23677-79):

Наличие первичной нагрузки в 10 кгс.

Период выдержки: 10-60 с.

Граничные значения возможных показателей HRA: 20-88; HRB 20-100; HRC 20-70.

Число визуализируется на циферблате твердомера, также может рассчитываться арифметически.

#### **2.3.1 Шкалы и инденторы**

Известно 11 различных шкал в зависимости от типа индентора и предельно-допустимой статической нагрузки. Наиболее распространённые в использовании: А, В и С.

А: алмазный конусный наконечник, угол при вершине  $120^\circ$ , общая допустимая сила статического влияния – 60 кгс, HRA; исследуются тонкие изделия, в основном прокат.

С: также алмазный конус, рассчитанный на максимальное усилие 150 кгс, HRC, применим для твердых и закаленных материалов (Рис. 2).

В: шарик размером 1,588 мм, изготовленный из закаленной стали или из твердого карбидо-закаленных материалов. В: шарик размером 1,588 мм, изготовленный из закаленной стали или из твердого карбидо-вольфрамового сплава, нагрузка – 100 кгс, HRB, используется для оценки твердости отожжённых изделий.



Рис. 2 Прибор для измерения твердости по Роквеллу

Шарикообразный наконечник (1,588 мм) применим для шкал Роквелла В, F, G. Также существуют шкалы E, H, K, для которых используется шарик диаметром 3,175 мм (ГОСТ 9013-59). Количество проб, сделанных с помощью твердомера Роквелла на одной площади, ограничивается размером детали. Допускается повторная проба на расстоянии 3-4 диаметра от предыдущего места деформации. Толщина испытуемого изделия также регламентируется. Она должна быть не меньше увеличенной в 10 раз глубины внедрения наконечника.

### **2.3.2 План исследования по методу Роквелла**

Измерение твердости металла более упрощено, нежели для способа Бринелля.

1. Оценка размеров и характеристик поверхности детали.
2. Проверка исправности аппарата.
3. Определение типа наконечника и допустимой нагрузки.
4. Установка образца.
5. Осуществление первичного усилия на материал, величиной в 10 кгс.
6. Осуществление полного соответствующего усилия.
7. Чтение полученного числа на шкале циферблата.

Также возможен математический расчет с целью точного определения механического параметра.

При условии использования алмазного конуса с нагрузкой 60 или 150 кгс:

$$HR=100-((H-h)/0,002);$$

при совершении испытания с помощью шарика под усилием 100 кгс:

$$HR=130-((H-h)/0,002),$$

где  $h$  – глубина внедрения индентора при первичном усилии 10 кгс;

$H$  – глубина внедрения индентора при полной нагрузке;

0,002 – коэффициент, регламентирующий величину перемещения наконечника при изменении числа твердости на 1 единицу.

Метод Роквелла является простым, но недостаточно точным. В то же время он позволяет измерять показатели механического свойства для твердых металлов и сплавов.

#### **2.4 Характеристики методики Виккерса**

Определение твердости металлов по данному способу наиболее просто и точно. Работа твердомера (Рис. 3) основана на вдавливании в образец алмазного пирамидального наконечника.



Рис. 3 Твердомер Виккерса

Основные особенности:

1. Индентор: алмазная пирамида с углом при вершине  $136^\circ$ .
2. Предельно допустимая нагрузка: для легированного чугуна и стали - 5-100 кгс; для медных сплавов - 2,5-50 кгс; для алюминия и сплавов на его основе - 1-100 кгс.
3. Период выдержки статической нагрузки: от 10 до 15 с.
4. Испытуемые материалы: сталь и цветные металлы с твердостью более 450-500 НВ, в том числе изделия после химико-термической обработки.

Пример обозначения: 700HV20/15, где 700HV – число твердости по Виккерсу; 20 – нагрузка, 20 кгс; 15 – период статического усилия, 15 с.

#### 2.4.1 Последовательность исследования твердости по Виккерсу

Порядок действий:

1. Проверка образца и аппаратуры. Особое внимание уделяется поверхности детали.
2. Выбор допустимого усилия.
3. Установка испытуемого материала.
4. Запуск твердомера в работу.
5. Чтение результата на циферблате.

Математический расчет по этому способу выглядит следующим образом:

$$HV=1,8544*(F/d^2),$$

где F – нагрузка, кгс; d – среднее значение длин диагоналей отпечатка, мм.

Он позволяет измерять высокую твердость металлов, тонких и небольших деталей, при этом предоставляя высокую точность результата.

## 2.5 Способы перехода между шкалами

Определив диаметр отпечатка с помощью специального оборудования, можно с помощью таблиц определить твердость. Таблица твердости металлов – проверенный помощник в вычислении данного механического параметра.

Так, если известно значение по Бринеллю, можно легко определить соответствующее число Виккерса или Роквелла. Пример некоторых значений соответствия:

Таблица 2

Таблица соответствия между шкалами твердости по Бринеллю, Роквеллу.  
Виккерсу

Диаметр отпечатка, мм	Метод исследования				
	Бринелля	Роквелла			Виккерса
		А	С	В	
3,90	241	62,8	24,0	99,8	242
4,09	218	60,8	20,3	96,7	218
4,20	206	59,6	17,9	94,6	206
4,99	143	49,8	–	77,6	143

Таблица твердости металлов составлена на основе экспериментальных данных и имеет высокую точность.

Также существуют графические зависимости твердости по Бринеллю от содержания углерода в железоуглеродистом сплаве.

Так, в соответствии с такими зависимостями, для стали с количеством карбона в составе равном 0,2% она составляет 130 НВ.

## 3 СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Сущность метода заключается в том, что шарик (стальной или из твердого сплава) определенного диаметра  $D$  под действием усилия  $F$ , приложенного перпендикулярно к поверхности образца, в течение определенного времени вдавливается в испытуемый металл (Рис. 4, а). Величину твердости по Бринеллю определяют исходя из измерений диаметра отпечатка  $d$  после снятия усилия. Диаметр отпечатка измеряют специальным микроскопом или лупой Бринелля с точностью 0,05 мм.

При измерении твердости по Бринеллю применяются шарики диаметром 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 мм. При твердости металлов менее 450 единиц для измерения твердости применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава. При твердости металлов более 450 единиц - только шарики из твердого сплава.

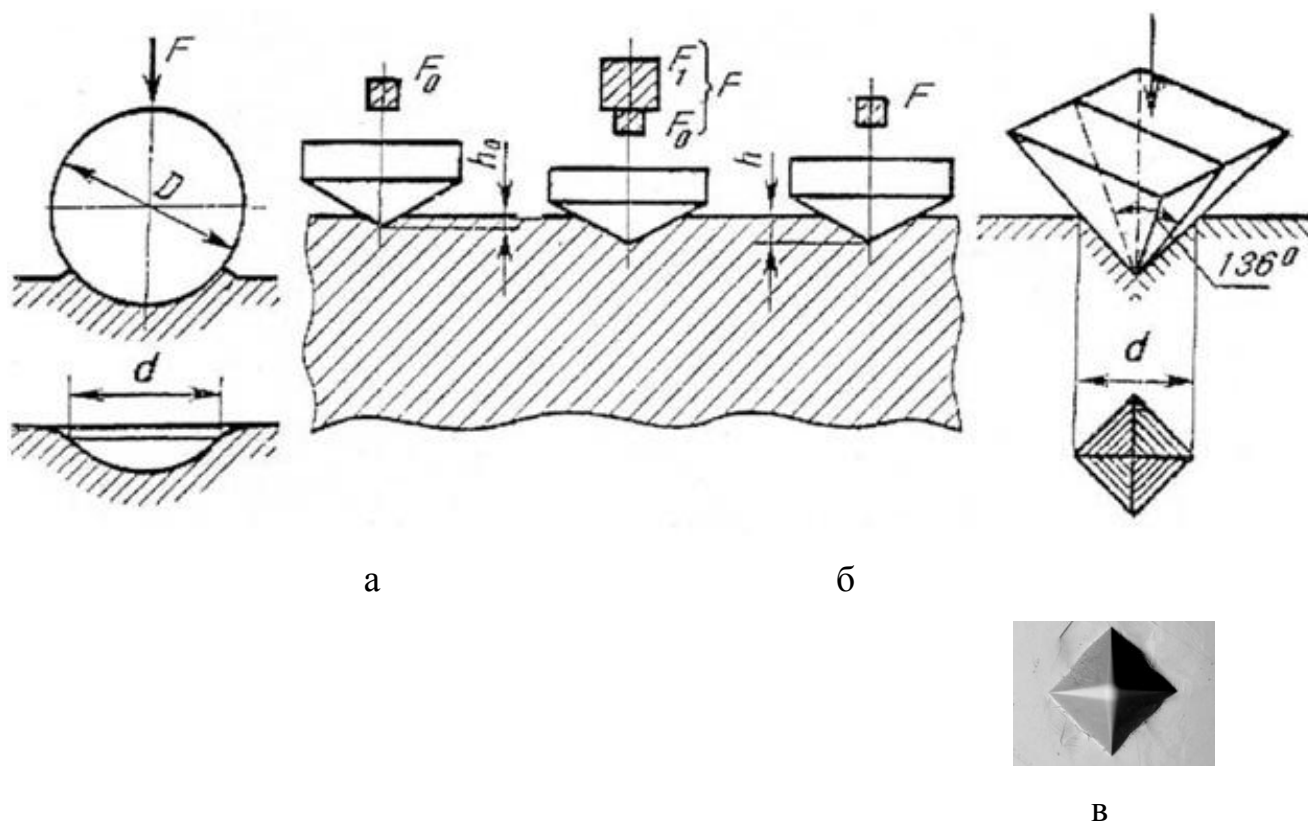


Рис. 4 Схемы определения твердости: а) методом Бринелля; б) методом Роквелла; в) методом Виккерса

Величину твердости по Бринеллю (НВ) определяют по специальной таблице, в которой диаметру отпечатка  $d$  соответствует определенное число

твердости, или рассчитывают как отношение усилия  $F$ , действующего на шарик, к площади поверхности сферического отпечатка  $A$ :

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где  $HB$  — твердость по Бринеллю при применении стального шарика ( $HBW$  — твердость по Бринеллю при применении шарика из твердого сплава), МПа (кгс);

$F$  - усилие, действующее на шарик, Н (кгс);

$A$  - площадь поверхности сферического отпечатка, мм<sup>2</sup>;

$D$  - диаметр шарика, мм;

$d$  - диаметр отпечатка, мм.

Одинаковые результаты измерения твердости при различных размерах шариков получаются только в том случае, если отношения усилия к квадратам диаметров шариков остаются постоянными. Исходя из этого, усилие на шарик необходимо подбирать по следующей формуле:

$$F = K \cdot D^2 \quad (2)$$

Диаметр шарика  $D$  и соответствующее усилие  $F$  выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах:

$$0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D \quad (3)$$

Если отпечаток на образце получается меньше или больше допустимого значения  $d$ , то нужно увеличить или уменьшить усилие  $F$  и произвести испытание снова.

Коэффициент  $K$  имеет различное значение для металлов разных групп по твердости. Численное значение его должно быть таким, чтобы обеспечивалось выполнение требования, предъявляемого к размеру отпечатка (см. формулу 3).

Толщина образца должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка.

### 3.1 Измерение твердости методом Бринелля



Подготовка образца, выбор условий испытания, получение отпечатка, измерение отпечатка и определение числа твердости производится в строгом соответствии с ГОСТ 9012-59.

(ИСО 410-82, ИСО 6506-81) **Металлы.**

[docs.cntd.ru>document/1200004695](https://docs.cntd.ru/document/1200004695)

Необходимые для измерения твердости значения выбираются из таблиц этого ГОСТа. Значение  $K$  выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Измерение твердости методом Бринелля

Диаметр шарика, D, мм	Прикладываемое усилие F, Н				
	$F = F/D^2$				
	30	10	5	2,5	1
10	29420	9807	4903	2452	980,2
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,5	153,2	61,3
1	294,2	98,1	49,0	24,5	9,81
Диапазон твердости НВ	55 - 650	35-200	<55	8-55	3-20
Измеряются	Сталь, чугун, медь и ее сплавы, легкие сплавы	Чугун, сплавы меди, легкие сплавы	Медь и ее сплавы, легкие сплавы	Легкие сплавы	Свинец, олово

Усилие F, в зависимости от значения K и диаметра шарика D, устанавливают в соответствии с табл. 3.

Рекомендуемое время выдержки образца под нагрузкой для сталей составляет 10 с, для цветных сплавов 30 с (при  $K=10$  и 30) или 60 с (при  $K=2.5$ ).

Данные измерений заносятся в протокол (табл. 4).

Таблица 4

### Протокол испытаний

Марка металла	D шарика, мм	F, H (кгс)	Продолжительность выдержки, с	Диаметр отпечатка, мм		Среднее арифметическое, $d_{cp}$ , мм	НВ (НВW)
12X18H9T	5	7355	8	1,5	1,7	1,6	

### 3.2 Измерение твердости методом Роквелла

Измерение твердости методом Роквелла осуществляется в соответствии с ГОСТ 9013-59.

[docs.cntd.ru>document/1200004663](https://docs.cntd.ru/document/1200004663)

Шкалу испытания (А, В или С) и соответствующие ей условия испытания (вид наконечника, общее усилие) выбирают в зависимости от предполагаемого интервала твердости испытуемого металла по табл. 5.

Данные измерений заносятся в протокол (табл.6).

Таблица 5

Выбор нагрузки и наконечника для испытания твердости методом Роквелла

Примерная твердость по Виккресу	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
60-240	В	Стальной шарик	100	HRB	25-100
240-900	С	Алмазный конус	150	HRC	20-67
390-900	А	То же	60	HRA	70-85

Таблица 6

### Протокол испытаний

Марка металла	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Результаты измерения	Примечание

### 3.3 Измерение твердости по Виккерсу

ГОСТ 2999-75

[docs.cntd.ru>document/gost-2999-75](https://docs.cntd.ru/document/gost-2999-75)

При испытании на твердость по методу Виккерса в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине  $\alpha=136^{\circ}$  (Рис. 1.1). После снятия нагрузки вдавливания измеряется диагональ отпечатка  $d$ . Число твердости по Виккерсу HV подсчитывается как отношение нагрузки  $P$  к площади поверхности пирамидального отпечатка  $M$ :

$$HV=P/M= (2P \cdot \sin\alpha/2)/d^2=1,854P/d^2$$

Число твердости по Виккерсу обозначается символом HV с указанием нагрузки  $P$  и времени выдержки под нагрузкой, причем размерность числа твердости (кгс/мм<sup>2</sup>) не ставится. Продолжительность выдержки индентора под нагрузкой принимают для сталей 10 – 15 с., а для цветных металлов – 30 с.

Например, 450 HV<sub>10/15</sub> означает, что число твердости по Виккерсу 450 получено при  $P = 10$  кгс (98,1 Н), приложенной к алмазной пирамиде в течение 15 с.

Преимущества метода Виккерса по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что методом Виккерса можно испытывать материалы более высокой твердости из-за применения алмазной пирамиды.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Название работы.

Цель работы.

Практическая часть:

- 1) Написать протокол измерения твердости стали после термообработки каждым способом в соответствии с ГОСТ для конкретной марки стали (по вариантам) – см. пример обозначения ( ).
- 2) Заполнить таблицы.
- 3) Рассчитать твердость стали, полученную каждым способом, назначив величину отпечатка.

**Контрольные вопросы**

1. Какие методы определения твердости Вам известны?
2. Сущность измерения твердости методом Бринелля.
3. Сущность измерения твердости методом Роквелла.
4. Сущность измерения твердости методом Виккерса.
5. Какие единицы измерения твердости существуют?
6. Как проводятся испытания твердости на приборе ТК-2?
7. Почему измерения твердости по Бринеллю нельзя применять для тонких образцов?
8. Почему для измерения твердости широко применяется метод Роквелла?

**ВАРИАНТЫ**

№	Марка стали	Твердость до термообработки			Твердость после термообработки		
		НВ	HR (шкала)	HV	НВ	HR (шкала)	HV
1	15ХМА						
2	30ХМ						
3	12Х18Н9Т						
4	20ХН3А						
5	09Г2						
6	09Г2С						
7	14Г2						
8	12ГС						
9	16ГС						
10	17ГС						
11	10Г2С1						
12	Ст3пс						
13	20						
14	45						
15	09Г2						
16	09Г2С						
17	14Г2						
18	12ГС						
19	16ГС						

20	17ГС						
----	------	--	--	--	--	--	--

### Список литературы

1. РД-03-613-03. (Приказ Ростехнадзора от 01.08.2006 N 738). Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов.
2. <http://fb.ru/article/269317/tverdost-metallov-tablitsa-tverdosti-metallov>
3. Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. «Материаловедение», - М, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 632 с.
4. Материаловедение и технология металлов: Учеб. Для студентов машиностроительных спец. вузов. Под ред. Г.П. Фетисова. - М.: Высш. шк., 2002. - 638 с.
5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1979. — 496 с.
6. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Учебное пособие для вузов. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. - 329 с.