



*Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный технический университет»*  
Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована DQS  
по международному стандарту ISO 9001:2015

*Институт/факультет Институт морских технологий,  
энергетики и транспорта*

*Кафедра «Общеинженерные дисциплины и транспорт»*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ**

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Сопротивление материалов»  
для студентов технических специальностей

Составили:

Джахьяева С.Б., к.т.н, доц. кафедры «Общеинженерный дисциплины и наземный транспорт»;

Рецензент: Каргин С.А., к.т.н, доц. заведующий кафедры «Общеинженерный дисциплины и наземный транспорт»

Измерение твердости по Бринеллю. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Сопротивление материалов» для студентов технических специальностей / АГТУ; Сост. С.Б. Джахьяева, Е.В. – Астрахань, 2024. - 16 с.

В методических указаниях изложены теоретические основы проведения испытаний на сжатие различных материалов, представлена методика обработки полученных экспериментальных данных.

Методические указания для практических занятий по дисциплине «Сопротивление материалов» утверждены на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт», протокол № 6 от 28 июня 2024 г.

© Астраханский государственный технический университет

Москва 2018

## Содержание

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. Цель работы                    | 3  |
| 2. Инструменты и оборудование     | 3  |
| 3. Краткие теоретические сведения | 3  |
| 4. Подготовка к испытанию         | 9  |
| 5. Проведение лабораторной работы | 14 |
| 6. Контрольные вопросы            | 15 |

## **1. Цель работы**

Определить твердость материала методом Бринелля.

## **2. Инструменты и оборудование**

- Испытательная машина (рисунок 2.1)
- Испытуемый образец
- Персональный компьютер (ноутбук)
- Электронный блок

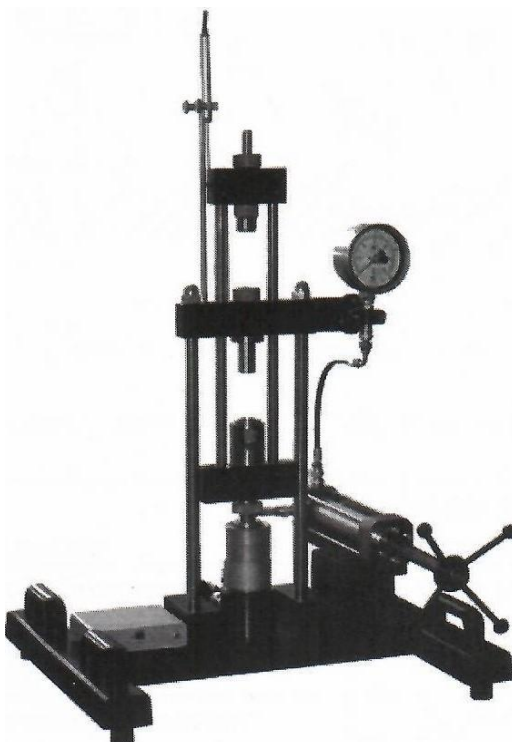


Рисунок 2.1 — Универсальная машина для исследования свойств материала.

## **3. Краткие теоретические сведения**

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твердость. Испытания на твердость производятся чаще, чем определение других механических характеристик металлов: прочности, относительного удлинения и др.

Твёрдостью материала- называют способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого твёрдого тела. Данная характеристика очень важна при обработке материала, для выбора инструмента и режима работы станка.

Метод Бринелли один из самых старых методов определения твердости. Данный метод основан на вдавливании в образец металлического шарика, после чего проводят замер отпечатка (рисунок 3.1). По размерам данного следа вычисляют твердость материала. Зная твёрдость по Бринеллю, можно быстро найти предел прочности и текучести материала, что важно для прикладных инженерных задач.

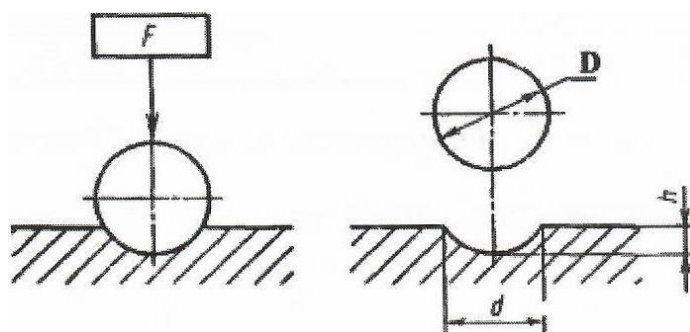


Рисунок 3.1 — Метод Бринелля

Перед началом работы, зная материал образца определяют используя таблицу 3.1 параметр К.

Таблица 3.1 — Определение параметра К

| Материал                                                              | Твердость по Бринеллю | К   |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|
| Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.) | о 140                 | 10  |
|                                                                       | 140 и более           | 30  |
| Титан и сплавы на его основе                                          | От 50                 | 15  |
| Медь и сплавы на ее основе, легкие металлы и их сплавы                | Менее 35              | 5   |
|                                                                       | от 35                 | 10  |
| Подшипниковые сплавы                                                  | От 8 до 50            | 2,5 |
| Свинец, олово и другие мягкие металлы                                 | 0 20                  | 1   |

Далее зная  $K$ , используют таблицу 3.2, по которой определяют прикладываемую силу.

Таблица 3.2 — Определение силы вдавливания

| Диаметр шарика, мм | Нагрузка $F$ , Н (кгс). для $K$ |       |       |      |      |       |
|--------------------|---------------------------------|-------|-------|------|------|-------|
|                    | 30                              | 15    | 10    |      |      | 1     |
| 10                 | 29420                           | 14710 | 9807  | 4903 | 2452 | 980,7 |
|                    | -3000                           | -1500 | -1000 | -500 | -250 | -100  |

При измерении твердости, наконечник плавно приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие  $F$ , до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины.

Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Определение времени выдержки

| Твердость по Бринеллю | Продолжительность, с. |
|-----------------------|-----------------------|
| До 10                 | 180                   |
| Св. 10 до 35          | 120                   |
| >>35>>100             | 30                    |
| >>100                 | окт. 15               |

Приблизительные значения твердости, для некоторых материалов указаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 — Твердость некоторых материалов

| Материал               | Твёрдость                |
|------------------------|--------------------------|
| Мягкое дерево (сосна)  | 1,6 HBS 10/100           |
| Твёрдое дерево         | от 2,6 до 7,0 HBS 10/100 |
| Алюминий               | 15 HB                    |
| Мель                   | 35 HB                    |
| Дюраль                 | 70 HB                    |
| Мягкая сталь           | 120 HB                   |
| Нержавеющая сталь      | 250 HB                   |
| Стекло                 | 500 HB                   |
| Инструментальная сталь | 650—700 HB               |

Время от начала приложения усилия до достижения заданной величины должно составлять 2-8 секунд. Диаметр отпечатка измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднеарифметическое значение результатов измерения.

Введем следующие обозначения:

Таблица 3.5 — Вводимые обозначения

| Обозначение | Наименование                                                                            |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $D$         | Диаметр шарика, мм                                                                      |
| $F$         | Усилие, Н (кгс)                                                                         |
| $d$         | Диаметр отпечатка, мм                                                                   |
| $h$         | Глубина отпечатка, вычисляемая по формуле<br>$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ , мм. |
| $s$         | Толщина образца, мм                                                                     |

|            |                                                                                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>A</i>   | Площадь поверхности сферического отпечатка, мм <sup>2</sup>                                                                                          |
| <i>K</i>   | Соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика<br>$\frac{0.102F}{D^2} \left( \frac{F}{D^2} \right) \text{Н/мм}^2 \text{ (кгс/мм}^2\text{)}$ |
| <i>HB</i>  | Твердость по Бринеллю при применении стального шарика                                                                                                |
| <i>HBW</i> | Твердость по Бринеллю при применении шарика из твердого сплава                                                                                       |

Твердость по Бринеллю *HB* численно равна отношению приложенного усилия *F* к площади сферического отпечатка *A* и рассчитывается по формулам:

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{0.102 \cdot 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.1)$$

В случае, когда усилие *F* выражено в Н;

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.2)$$

В случае, когда усилие *F* выражено в кгс;

Твердость по Бринеллю обозначают символом *HB* (*HBW*), которому предшествует числовое значение твердости из трех значений цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 с.

Примеры обозначения:

250 HB 5/750 - твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усиллии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

575 HBW 2,5/187,5/30 - твердость по Бринеллю 575, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм, при усилии 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с;

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

Как было сказано выше, зная твердость по Бринеллю, можно определить предел прочности и текучести некоторых материалов. Например, для стали предел прочности будет:

$$\sigma_B = \frac{10HB}{3} \text{ МПа} \quad (3.3)$$

А предел текучести:

$$\sigma_T = \frac{10HB}{6} \text{ МПа} \quad (3.4)$$

Для алюминиевых сплавов, предел прочности:

$$\sigma_B = 3.62HB \text{ МПа} \quad (3.5)$$

Предел текучести:

$$\sigma_T = 2.6HB \text{ МПа} \quad (3.6)$$

#### 4. Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Собранный стенд изображен на рисунке 4.1. Сборка осуществляется следующим образом:

1. Закрепите пуансон 3 на средней траверсе, используя шпильку 2 и гайку 1;

2. Установите столик 4 на нижнюю траверсу

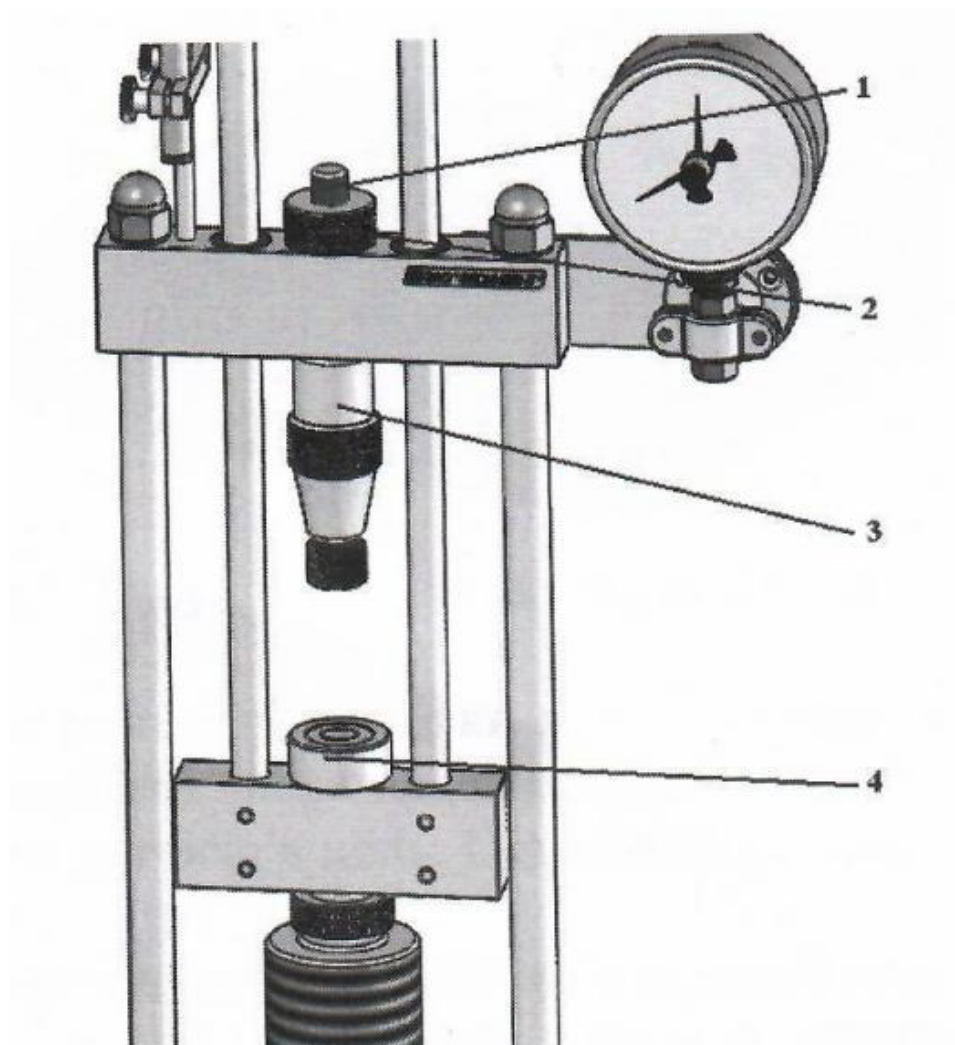


Рисунок 4.1 — Собранный стенд

Образец должен быть установлен на столике 4 устойчиво, во избежание его смещения и прогиба во время измерения прогиба.

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 4.3. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления
- Датчик перемещения
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V
- Компьютер USB-проводом в разъем PC



Рисунок 4.3 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При проведении испытания нижняя и верхняя траверсы, перемещаются вверх, вдавливая шарик в образец. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 4.4). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и двигается вместе с ней.

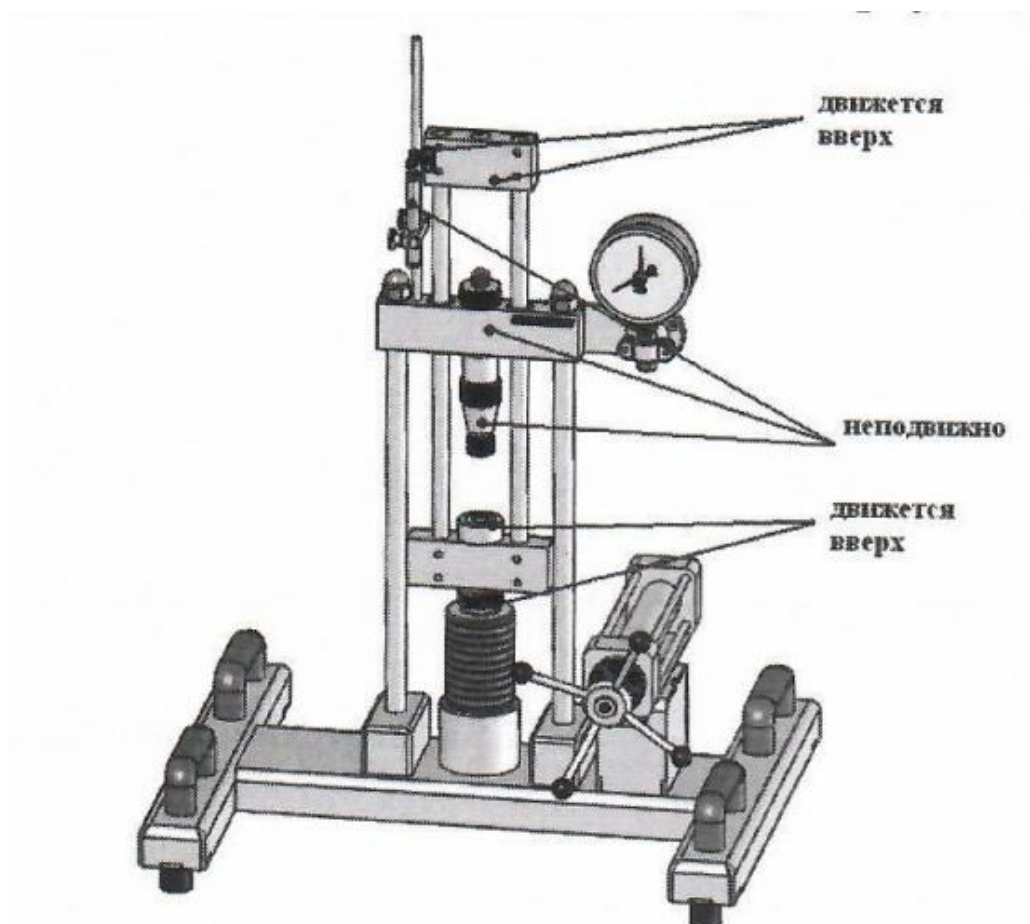


Рисунок 4.4 - Направления перемещения частей станда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стандом (рисунок 4.5). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствии чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

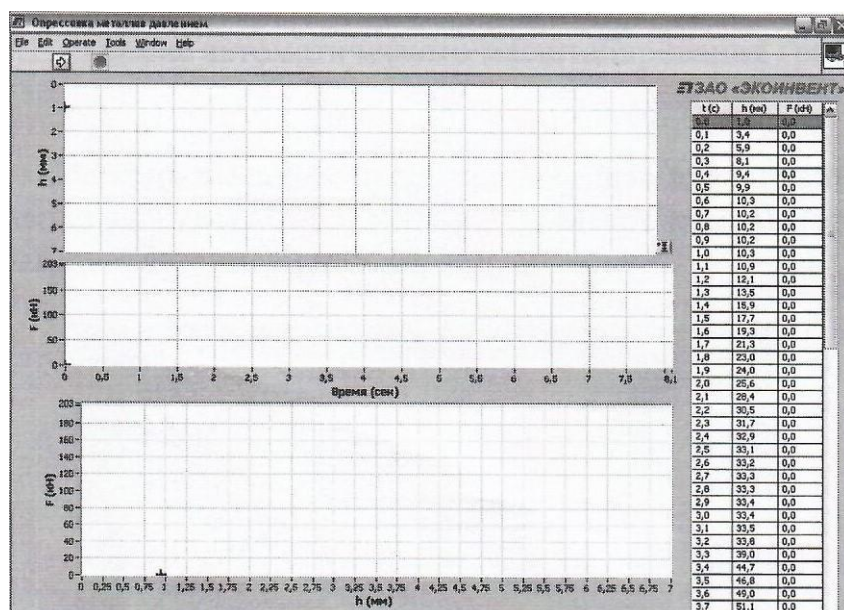


Рисунок 4.5 — Вид программы для работы со стендом

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

## 5. Проведение лабораторной работы

В данной лабораторной работе используется стальной шарик диаметром 10 мм .

Порядок работы следующий:

1. Используя таблицу 3.1. определите параметр К;
2. Используя таблицу 3.2. определите силу вдавливания;
- 3.Используя таблицу 3.3. определите время выдержки
4. Засеките время и приступите к вдавливанию шарика в образец, для этого необходимо вращать штурвал по часовой стрелке

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать

кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков и изображена на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 — Кнопка автоматического масштабирования графиков.

По мере увеличения давления будет происходить вдавливание шарика. Величина перемещения будет отображена на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 5.2 ).

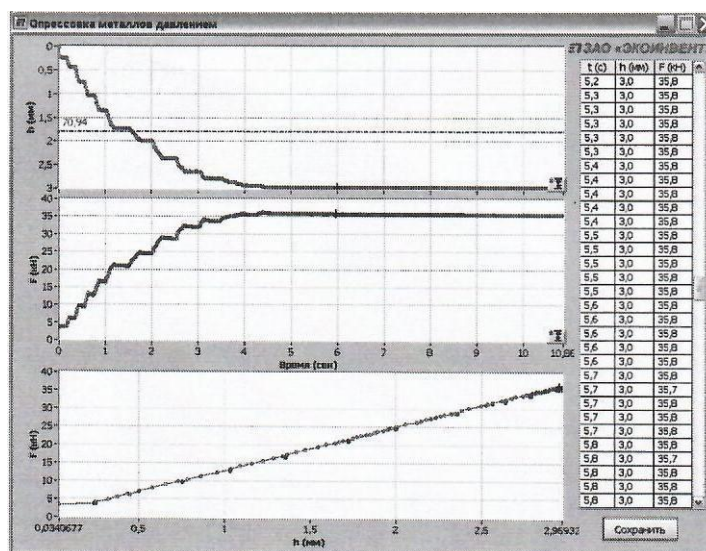


Рисунок 5.2 — Внешний вид программного обеспечения

Нагрузив до заданной силы, выдержите необходимое время, после чего необходимо снять нагрузку, вращая штурвал против часовой стрелки.

Используя штангенциркуль, либо линейку замерьте в двух взаимно перпендикулярных направлениях размеры отпечатка и вычислите среднее.

Завершите работу вычислением твердости материала по формулам теоретической части.

По датчику давления, можно подсчитать приложенную силу воспользовавшись формулой:

$$F = P \cdot A \quad (5.1)$$

Здесь  $P$  — давление в системе,

$A$  - площадь поршня толкающего нижнюю траверсу и равна  $1.257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

## **6. Контрольные вопросы**

1. Что такое твердость?
2. В чем заключается суть метода Бринелли?
3. Каково практическое применение твердости?
4. Как обозначается твердость материала?