

Министерство образования и молодежной политики Свердловской области

Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение  
Свердловской области  
«Уральский колледж технологий и предпринимательства»  
(ГАПОУ СО «УКТП»)

Преподаватель Дорофеева Галина Анатольевна

Обратная связь осуществляется эл.почта: [gal62kuz@mail.ru](mailto:gal62kuz@mail.ru) (обязательно подписывается фамилия, имя, группа студента).

Дисциплина: Материаловедение (лабораторные работы)

Занятие № 10 (4 часа)

Тема: Определение качественных показателей ЛКМ.

Определение твердости стали

Цель нашего занятия: ознакомиться с методикой определения степени перетира ЛКМ, твердости стали

Вид учебного занятия: изучение нового материала

### **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАНЯТИЯ**

Добрый день, уважаемые студенты. Вам предлагается самостоятельно ознакомиться с методами определения степени перетира ЛКМ и твердости стали. Изучив методики, письменно ответьте на вопросы, обозначенные в конце лабораторной работы. Данный материал позволит вам расширить знания в области испытания строительных материалов.

## Лабораторная работа № 19

**Цель работы:** Определить степень перетира а при помощи гриндометра

**Инструменты и материалы:**

- гриндометр «Константа-Клин-150»
- водно-дисперсионная краска

### Ход работы

Степень перетира определяется в неразбавленных лакокрасочных материалах, если нет других указаний в нормативно-технической документации на испытуемый материал.

Степень перетира грунтовок, эмалей и готовых к применению красок определяют по границе значительного количества отдельных частиц и агрегатов пигментов и наполнителей, видимых на поверхности слоя испытуемого лакокрасочного материала

1. Изучить устройство и принцип работы прибора гриндометр «Константа-Клин-150»



2. Измерительную плиту прибора устанавливают на горизонтальную поверхность. Испытуемый материал тщательно перемешивают и помещают за верхний предел шкалы приборов в количестве, достаточном для заполнения всего паза, избегая при этом попадания пузырьков воздуха
3. Скребок устанавливают перпендикулярно к измерительной поверхности и к длине паза за помещенным в пазе испытуемым материалом. С небольшим нажимом скребком перемещают по измерительной поверхности с равномерной скоростью за время не более 3 секунд. От максимального значения шкалы за нуль, при этом паз должен полностью заполнен слоем испытуемого материала, а измерительная поверхность должна оставаться чистой.
4. Поверхность слоя испытуемого материала сразу же осматривают на свету перпендикулярным длине паза и под углом зрения к поверхности слоя 20-30 градусов и за время не более 6 сек определяют положение границ
5. Затрата времени на одно определение не должна превышать 10 сек.
6. Проводят не менее 3 определений степени перетира
7. После каждого определения измерительная поверхность и скребок должны быть тщательно вытерты мягкой тканью смоченной соответствующим растворителем.
8. За результат испытания в микрометрах принимают среднее арифметическое трёх определений по шкале прибора

№опыта	Материал	Показания гриндометра Микрометры
1	ВДК	80
2	ВДК	20
3	ВДК	40
Среднее знач.		47

**Вывод:** среднее значение показания гридометра = 47 микрометров.

**Ответить письменно на вопросы:**

1. **Что такое степень перетира ЛКМ?**
2. **Какое оборудование позволяет определить степень перетира?**
3. **Какие материалы относятся к лакокрасочным?**
4. **Опишите принцип выполнения лабораторной работы.**

### **Лабораторная работа № 20**

**Тема: Определение твердости стали.**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ**

**Цель работы** – познакомиться с различными методами и методиками определения твердости сталей, овладеть методом определения твердости сталей по Бринеллю и вычисление косвенным путем (через число твердости) предела прочности и предела текучести стали.

**Твердость** – это свойство металла оказывать сопротивление при местных контактных воздействиях пластической деформации или хрупкому разрушению в поверхностном слое в определенных условиях испытания (Комиссия по терминалогии при Академии наук)

**Твердость** – свойство поверхностного слоя материала сопротивляться деформации или разрушению при внедрении в него индентора из более твердого материала.

Существует несколько методов определения твердости, различающихся по характеру воздействия активного элемента (индентора), изготовленного из малодеформируемого материала (твердая закаленная сталь, алмаз или твердый сплав) и имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы.

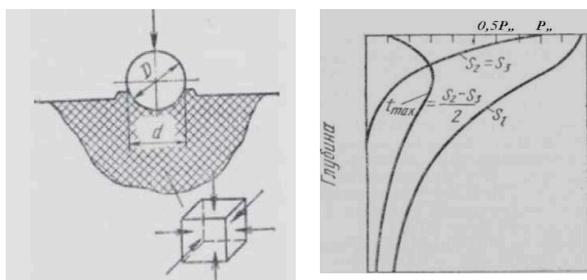
**Твердость** можно измерять вдавливанием индентора, ударом или по упругому отскоку индентора. Твердость, определенная по отскоку, характеризует упругие свойства;

твердость, определенная вдавливанием, характеризует сопротивление пластической деформации.

Наибольшее применение получило измерение твердости вдавливанием. Наиболее распространены методы измерения твердости по Бринеллю, Виккерсу и по Роквеллу.

#### **Определение твердости по Бринеллю**

При стандартном (ГОСТ 9012-59) измерении твердости по Бринеллю стальной шарик диаметром  $D$  вдавливают в образец исследуемого материала под нагрузкой  $P$  действующей определенное время; после снятия нагрузки измеряют диаметр  $d$  оставшегося на поверхности образца отпечатка (рис. 1).



а) б)

Рис.1 Схема напряженного состояния в зоне пластической деформации (заштрихована) (а) и расчетные кривые распределения напряжений вдоль оси вдавливания шарового индентора (б)

В поверхностном слое металла под индентором идет интенсивная пластическая деформация и вытеснение материала из-под индентора (рис.1).

Расчетные кривые распределения упругих напряжений вдоль оси вдавливания показывают, что все нормальные напряжения ( $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ ) плавно снижаются по мере удаления от индентора, а касательные напряжения ( $t_{max}$ ) достигают максимума на глубине, равной половине радиуса сферической поверхности касания индентора с образцом, а затем уменьшаются.

По другим направлениям напряжения тоже снижаются.

Распределение напряжений при пластической деформации под индентором существенно не меняется по сравнению с упругой деформацией. Пластически деформирующийся объем окружен «твердым», упруго-напряженным материалом, в результате чего и возникает схема напряженного состояния, близкая к гидростатическому сжатию.

При этом сопротивление пластической деформации (**Свдавл**) оказывается примерно в четыре раза больше сопротивлению одноосному сжатию (**Ссж**);

$$\mathbf{Свдавл} = (1 + \pi)\mathbf{Ссж}.$$

Металл, вытесненный индентором, оказывается над первоначальной плоскостью образца и может исказить форму отпечатка (при любой форме индентора). Чем выше пластичность испытываемого материала, тем больший объем участвует в пластической деформации, меньше высота образующегося около отпечатка гребня над первоначальной плоскостью и дальше этот гребень от края отпечатка.

Диаметр отпечатка получается тем меньше, чем выше сопротивление материала образца деформации, производимой индентором.

Число твердости по Бринеллю (НВ) есть отношение нагрузки  $P$ , действующей на шаровой индентор диаметром  $D$ , к площади  $F$  шаровой поверхности отпечатка:

$$(1) \text{ где } D - \text{ диаметр шарика (мм), } d - \text{ диаметр отпечатка (мм).}$$

Из формулы (1) следует, что для получения одинаковых значений НВ одного и того же образца при использовании шариков разного диаметра необходимо

постоянство отношений  $P/D$  и  $d/D$  (условие геометрического подобия отпечатков при использовании шарового индентора).

Но на практике такого постоянства добиться невозможно. Отношение  $d/D$  поддерживают в пределах 0,2...0,6.

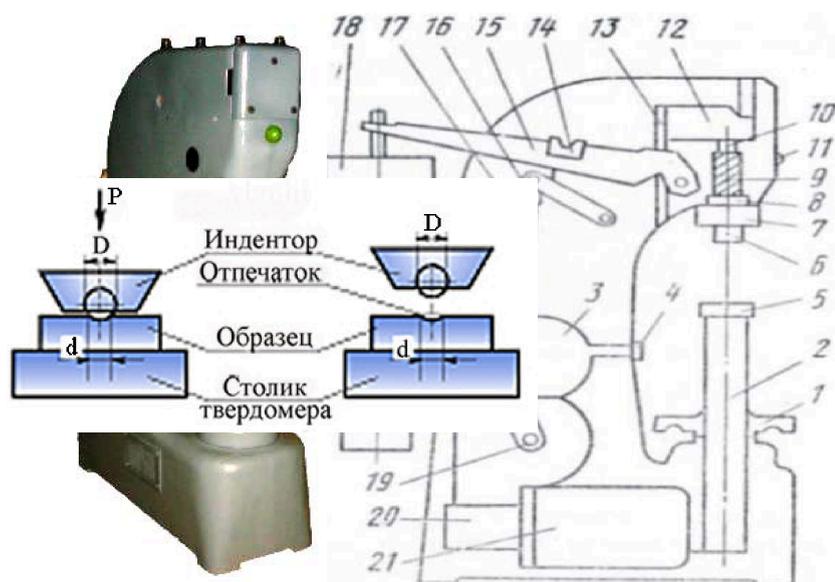
Предел прочности стали это тоже свойство сопротивляться пластической деформации.

Одинаковая природа деформаций позволила выявить зависимость между пределом прочности  $\sigma_{и}$  и числом твердости НВ:

(2)

Для получения отпечатка оптимальных размеров необходимо правильно подобрать соотношение между нагрузкой и диаметром шарика. Рекомендуемые нагрузки и диаметры шариков для определения НВ различных металлических материалов приведены в ГОСТ 9012-59.

Рекомендуемое время выдержки образца под нагрузкой для сталей 10 сек, для цветных металлов и сплавов 30 сек (при  $P/D=10$  и 30) или 60 сек (при  $P/D=2,5$ ). Зная заданные при испытании  $P$  и  $D$  и измерив  $d$ , находят число твердости НВ по стандартным таблицам.



**Рис. 2. Общий вид и схема твердомера Бринелля ТШ-2:**

1 - маховик; 2 - подъемный винт; 3 - шкала для задания времени выдержки под нагрузкой; 4- кнопка-

выключатель; 5 - опорный столик; 6 - шпindelь для индикатора; 7 - упорный чехол; 8 - втулка; 9- пружина; 10 - шпindelь; 11- сигнальная лампа; 12, 15 - рычаги; 13 - серьга; 14 - микропереключатель; 16 - вилка; 17 -шатун; 18- грузы; 19 - кривошип; 20 -редуктор; 21-электродвигатель

Прибор смонтирован в массивной станине. На подъемном винте 2, перемещающемся при вращении маховика 1, устанавливаются сменные опорные столики 5 для испытываемых образцов.

В верхней части станины расположен шпindelь 6, в который вставляют сменные наконечники с шариками разных диаметров. Шпindelь опирается на пружину 9, предназначенную для приложения к образцу предварительной нагрузки 1000 Н для устранения смещений образца во время испытания. Основная нагрузка прилагается через систему рычагов.

На длинном плече основного рычага 15 размещена подвеска, на которой устанавливают сменные грузы 18. Комбинацией грузов задают нагрузки от 625 до 30000Н. Вращение вала электродвигателя 21 посредством червячной передачи сообщается шатуну 19, он опускается, и нагрузка передается на шпиндель прибора.

Продолжительность испытания задается передвижным упором. Когда шатун доходит до него, срабатывает концевой переключатель и электродвигатель начинает вращаться в обратную сторону, шатун поднимается, и нагрузка снимается со шпинделя. По возвращении шатуна в исходное положение электродвигатель автоматически выключается.

### Определение твердости по Виккерсу

Этот метод второй по распространенности после метода Бринелля. При стандартном измерении твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-75) в поверхность образца вдавливают алмазный индентор в форме четырехгранной пирамиды с углом при вершине  $\alpha = 136^\circ$ .

После удаления нагрузки  $P = 10 \dots 1000$  Н, действовавшей определенное время (10...15 с), измеряют диагональ отпечатка  $d$ , оставшегося на поверхности образца. Число твердости HV (записываемое по ГОСТу без единиц измерения, (например 230 HV) определяют делением нагрузки к килограммам на площадь боковой поверхности полученного пирамидального отпечатка

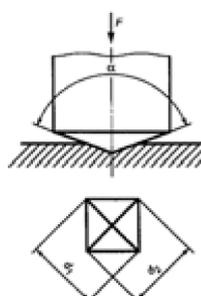
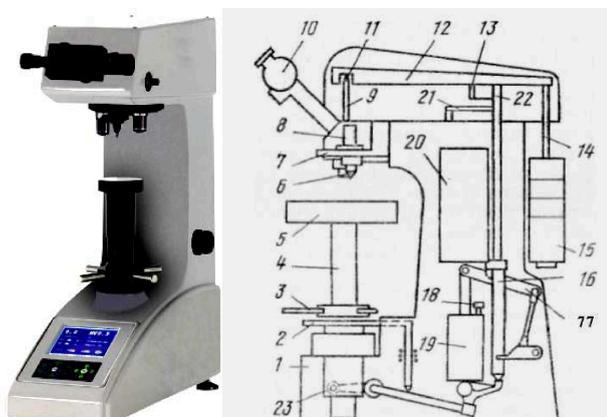
$F = (d^2/2) (1/\sin(\alpha/2))$ , мм;

$$HV = (2 \cdot P \cdot \sin(\alpha/2)) / d^2 = 1.854P/d^2 \quad (3)$$

Если число твердости выражают в МПа, то после него указывают единицу измерения (например, HV = 3200 МПа).

Измерив диагональ  $d$  восстановленного отпечатка и зная использованную нагрузку  $P$ , можно найти число твердости по специальным таблицам, составленным с использованием формулы (3). Относительно небольшие нагрузки и малая глубина вдавливания индуктора обуславливают необходимость более тщательной подготовки поверхности, чем при измерении твердости по Бринеллю. Образцы для замера твердости HV, как правило должны быть отполированы, и их поверхность должна быть свободна от наклепа.

Обычно  $d < 1$  мм, т. е. размеры отпечатка при определении твердости по Виккерсу значительно меньше, чем в методе Бринелля. При грубой поверхности образца это может вызвать большой разброс значений HV в разных точках. Для получения достоверных средних



достоверных средних

значений HV приходится делать на каждом образце не менее пяти — десяти замеров. \_

Рис.4. Общий вид (а), принципиальная схема (б) твердомера ТП и схема вдавливания алмазного конуса (г)

Схема прибора марки ТП для измерения твердости по Виккерсу показана на рис. 4.

Прибор смонтирован на станине 1.

Образец помещают на опорный столик 5. Нагрузка прилагается к индентору 6 через установленный на призмах 11 рычаг 12 (с отношением плеч 1:25) и промежуточный шпиндель 9, постоянно прижатый двумя пружинами к призме рычага.

В спокойном состоянии рычаг 12 опирается на штырь 13. На длинном плече рычага имеется подвеска 14 для установки сменных грузов 15. Рычаг с подвеской без сменных грузов даст минимальную нагрузку 50 Н. Шпиндель 8 с индентором и измерительный микроскоп 10 смонтированы на поворотной головке, поворот которой производится рукояткой 7.

После установки образца на стол твердомера совмещают перекрестие окуляра микроскопа с тем местом на образце, твердость которого необходимо измерить. На резкость наводят перемещением подъемного винта 4 маховичком 3. Затем рукояткой 7 поворотную головку устанавливают так, чтобы индентор оказался над образцом. При этом ось шпинделя Н совмещается с осью промежуточного шпинделя 9. Подъемный винт 1 поднимают вверх до упора в торец защитного колпачка индентора. Затем рукояткой 23 вводится механизм грузового привода, последний включают нажатием на педаль 2. При этом ломаный рычаг 17 выходит из мертвого положения и пустотелый шпиндель 16, связанный с масляным амортизатором 19, опускается вниз. Движение поршня амортизатора с укрепленным на нем грузом 20 вызывает опускание подъемного штыря 13, на котором лежит грузовой рычаг прибора. После того как штырь 13 опустится, рычаги 21 и 22 вновь поднимут его, снимая таким образом приложенную нагрузку.

Продолжительность выдержки под нагрузкой (10...15 с) регулируется винтом 18 на крышке масляного амортизатора.

Пока образец находится под нагрузкой, горит сигнальная лампочка, расположенная в верхней части передней панели твердомера.

После снятия нагрузки поворотную головку переводят в такое положение, чтобы, полученный отпечаток вновь был виден в микроскоп. Затем с помощью барабанчика окуляра микрометра измеряют длину диагонали отпечатка.

Для повышения точности этих замеров модернизированный прибор ТП-2 снабжен экраном, на который проектируется в увеличенном Масштабе

изображение отпечатка и линий измерительного микроскопа.

Физический смысл числа твердости по Виккерсу аналогичен НВ, величина НV тоже является усредненным условным напряжением в зоне контакта индентор — образец и характеризует обычно сопротивление материала значительной пластической деформации.

Числа НV и НВ близки по абсолютной величине. Это обусловлено равенством угла при вершине пирамиды углу между касательными к шару для случая «идеального» отпечатка с  $d = 0,375 D$ . Однако  $HV=HB$  только до 400—450 НV.

Выше этих значений метод Бринелля дает искаженные результаты из-за остаточной деформации стального шарика. Алмазная же пирамида в методе Виккерса позволяет определять твердость практически любых металлических материалов.

Еще более важное преимущество этого метода — геометрическое подобие отпечатков при любых нагрузках.

#### Определение твердости по Роквеллу

При измерении твердости по Роквеллу, индентор — алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  (ГОСТ 9013—59) и радиусом закругления 0,2 мм или стальной шарик диаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма) — вдавливаются в образец под действием двух последовательно прилагаемых **нагрузок**:

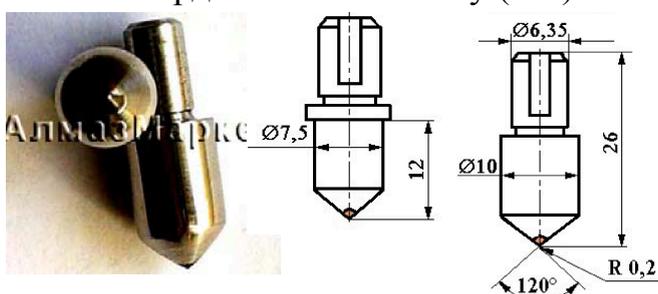
предварительной  $P_0$  и общей  $P = P_0 + P_1$ ,

где  $P_1$  — основная нагрузка.

Число твердости по Роквеллу измеряют в условных единицах, оно является мерой глубины вдавливания индентора под определенной нагрузкой.

Схема определения твердости по Роквеллу при вдавливании алмазного конуса приведена на рис. 5. Сначала индентор вдавливается в поверхность образца под предварительной нагрузкой  $P_0 = 100\text{Н}$ , которая не снимается до конца испытания. Это обеспечивает повышенную точность испытания, так как исключает влияние вибраций и топкого поверхностного слоя. Под нагрузкой  $P_0$  индентор погружается в образец на глубину  $h_0$ .

Затем на образец подается полная нагрузка  $P=P_0 + P_1$  и увеличивается глубина вдавливания. Последняя после снятия основной нагрузки  $P_1$  (когда на индентор вновь действует только предварительная нагрузка  $P_0$ ) определяет число твердости по Роквеллу (HR).



Чем больше глубина вдавливания  $h$ , тем меньше число твердости HR.

а) б) в) г)  $P_0 h_0 \} P_1$

Рис. 5. Общий вид (а) и схема (б) алмазного конуса, индентор с

шариком (в), схема вдавливания алмазного конуса (г)

При использовании в качестве индентора алмазного конуса твердость по Роквеллу определяют по двум «шкалам» — А и С.

При измерении по шкале А:  $P_0=100\text{Н}$ ,  $P_1=500\text{Н}$ ,  $P_2=600\text{Н}$ ;

по шкале С:  $P_0=100\text{Н}$ ,  $P_1=1400\text{Н}$ ,  $P_2=1500\text{Н}$ .

Число твердости выражается формулой

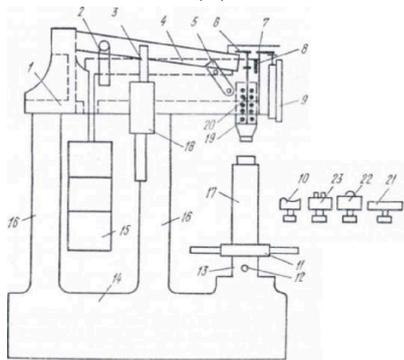
$$\text{HRC (HRA)} = 100 - e \quad (4)$$

где  $e = (h - h_0) / 0.002$  (0.002 мм – цена деления шкалы индикатора твердомера Роквелла).

Единица твердости по Роквеллу – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0.002 мм.

При использовании в качестве индентора стального шарика число твердости HR определяют по шкале В, т.е. при  $P_0=100\text{Н}$ ,  $P_1=900\text{Н}$ ,  $P_2=1000\text{Н}$ ,

по формуле:  $\text{HRB} = 130 - e$ . (5)



На станине 14 с одной стороны расположены две стойки 16, которые поддерживают поперечину 1.

С другой стороны в направляющей втулке 13 со шпилькой 12 помещен подъемный винт 17, на

котором устанавливают в зависимости от формы образца опорные столики 21...23 и 10. Винт со столиком и образцом поднимают вращением маховичка 11.

Предварительную нагрузку к образцу прикладывают цилиндрической пружиной 19, действующей непосредственно на шпиндель 20. Грузовой рычаг второго рода 4, расположенный на поперечине 1, имеет опоры на призме 8. К длинному плечу рычага подвешивают грузы 15.

В нерабочем положении прибора рычаг опирается на подвеску 2, и нагрузка на шпиндель не действует. Для приложения основной нагрузки освобождают рукоятку 5. При этом подвеска 2 вместе с рычагом 4 - плавно опускается, и последний действует на шпиндель.

Рычаг опускается плавно благодаря масляному амортизатору 18, позволяющему регулировать скорость приложения основной нагрузки вращением штока 3.

Соотношение плеч у грузового рычага 1:20, и, поэтому действительный вес сменных грузов в 20 раз меньше их условного веса.

Движение от шпинделя к стрелкам индикатора 9 передается рычагом 7 с соотношением плеч 1:5. Призма шпинделя упирается в винт 6 на рычажке.

Винтом 6 регулируется натяжение пружины 19, создающей предварительную нагрузку.

Из рассмотренной методики определения твердости по Роквеллу видно, что это еще более условная характеристика, чем НВ. Наличие различных шкал твердости, определяемой без геометрического подобия отпечатков, условный и безразмерный численный результат испытания, сравнительно низкая чувствительность делают метод Роквелла лишь средством быстрого упрощенного технического контроля. В заводских условиях его ценность велика благодаря простоте, высокой производительности, отсчету чисел твердости прямо по шкале прибора, возможности полной автоматизации испытания.

Числа твердости, полученные разными методами статического вдавливания индентора, связаны между собой. Зная, например, значение твердости по Бринеллю, можно перевести его с некоторым приближением в число твердости по Виккерсу или Роквеллу.

Числа твердости по разным методам можно определить на одном приборе. Например, ( универсальный твердомер УПТ-1 ) позволяет измерять твердость всеми тремя рассмотренными методами. Переход от одного метода к другому требует лишь смены индентора и грузов.

Помимо стационарных приборов в настоящее время находят распространение переносные малогабаритные твердомеры, работающие по принципу динамического действия (удара). К таким приборам можно отнести ТЭМП-4 (рис. 8), состоящий из датчика и электронного блока, соединенных экранированным кабелем. Датчик состоит из направляющей трубки,

цангового механизма, ударника (включающего в себя твердосплавный шаровидный индентор и постоянный магнит), катушки индуктивности, опорного кольца и спусковой кнопки.

Для подготовки к работе датчик взводится с помощью закрепленного на корпусе прибора толкателя. В процессе измерения, которое заключается в плотном соприкосновении датчика с поверхностью образца и нажатии спусковой кнопки, ударник ударяется о поверхность

испытываемого металла и отскакивает от него. При падении и отскоке ударника, постоянным магнитом, вмонтированным в ударник, в катушке индуктивности наводится ЭДС. Полученный сигнал от датчика передается по экранированному кабелю в электронный блок. Отношение скорости падения и отскока ударника преобразуется прибором в число твердости выбранной пользователем шкалы (Бринелля, Роквелла, Виккерса).

Прибор ТЭМП-4 позволяет проводить измерение твердости сталей, чугунов в полевых условиях на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях изделий с различным радиусом

кривизны

→ Технические характеристики: *Динамический твердомер- ТЭМП-4*

Параметр	Значение
Диапазоны измерений твердости по шкалам:	
Бринелля, НВ	95 - 460
Роквелла, HRC	22-68
Виккерса, HV	95-950
Шора, HSD	23 - 99

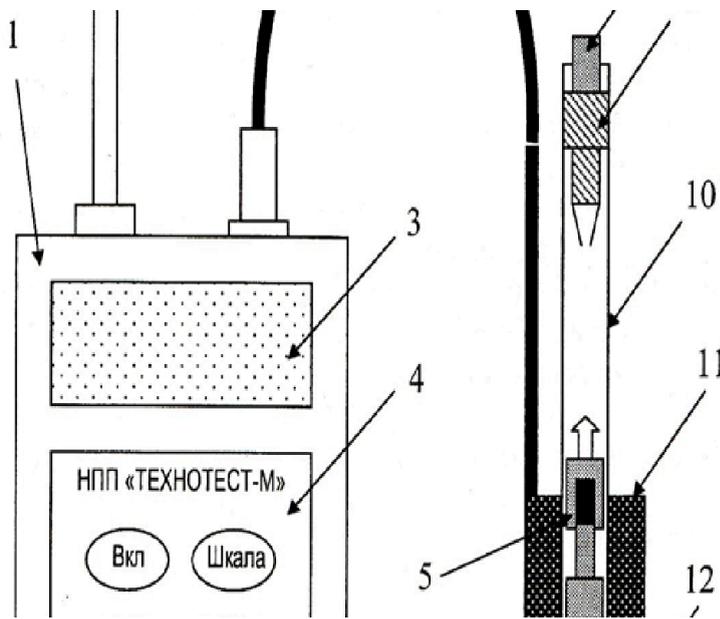


Рис. 8. Твердомер ТЭМП-4 и его технические характеристики

Твердомер ТН 130 – совершенно новая модель в серии твердомеров фирмы ТИМЕ, использующая последние достижения в микроэлектронике. Прибор объединяет в одном корпусе ударное

устройство и процессор обработки данных. Прибор может автоматически вести пересчет измерений в единицах Либа в единице твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и хранить их в памяти процессора.

К прибору можно подключить принтер и в режиме реального времени выводить данные на печать.



→ Технические характеристики: *Динамический твердомер- ТН-130*

Параметр	Значение
Точность: погрешность измерения	±0.8% (при L=800)
Относительное отклонение при повторных измерениях	0.8% (при L=800)
Ударное устройство:	модель D, с энергией соударения = 11 Н * мм
Диапазон рабочих температур, °С	0°С ~ +50
Направление соударения:	произвольное
Вес, гр	180
Габариты, мм	156.5 X 55 X 24
Время непрерывной работы на одном заряде аккумуляторов, ч	8



6. Вычислить предел прочности каждой стали по формуле

7. По значению  $\sigma_t$  определить принадлежность исследуемой стали к определенной группе. Наиболее широко применяемые в строительных конструкциях стали представлены в табл. 2.

Марка стали	ВСт3	10Г2С1	10ХСНД	14 Г2	15ХСНД	16Г2АФ
$\sigma_t$ , МПа	360	470	530	460	490	590

8. Измерить твердость образцов прибором ТЭМП-4. Для этого включить прибор нажатием кнопки «ВКЛ», выбрать требуемую шкалу твердости (НВ) нажатием кнопки «ШКАЛА» и выбрать угол наклона датчика кнопкой «УГОЛ», показывающий, что измерения производятся сверху вниз. Далее толкателем плавно взвести датчик с его торцевой стороны до защелкивания и извлечь толкатель из датчика. Установить датчик перпендикулярно к поверхности изделия, плотно его придавить и нажать на спусковую кнопку. После соударения ударника с поверхностью на индикаторе прибора появится результат измерения. Провести не менее 10 измерений твердости прибором ТЭМП-4.

9. Выполнить статистическую обработку результатов измерения твердости каждого образца по следующим формулам:

– среднее арифметическое значение твердости испытанных образцов;

**Изучив материал выполнения лабораторной работы, письменно ответьте на вопросы:**

1. Что такое твердость?

2. Что означает число твердости по Виккерсу?

3. Какой индентор вдавливается в металл при испытании твердости по Виккерсу?

4. Что называют временным сопротивлением стали?

5. Какая эмпирическая зависимость существует между временным сопротивлением стали и числом твердости по Виккерсу?

Марка стали ВСт3 10Г2С1 10ХСНД 14 Г2 15ХСНД 16Г2АФ

$\sigma_t$ , МПа 360 470 530 460 490 590