

Министерство образования Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НЕФТИ И ГАЗА им. И.М.ГУБКИНА

Кафедра сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений

Л.А.ЕФИМЕНКО, А.К.ПРЫГАЕВ

Определение фактических механических свойств металла  
трубопроводов на основе измерения твердости

***Учебное пособие для практической работы в условиях  
полигона.***

Москва 2007

**УДК 621. 791.**

Ефименко Л. А. , Прыгаев А.К., Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости: Учебное пособие - М : РГУ нефти и газа, 2007 - с.

Рассматривается методика определения фактических механических свойств металла труб и сварных соединений с использованием метода твердомерии. Рекомендуется для студентов специальностей факультета проектирования, сооружения и эксплуатации систем трубопроводного транспорта и инженерной механики, слушателей магистратуры, аспирантов и инженерно - технических работников.

Рецензент - к.т.н., доц.Сорокин В.Н..

## 1. Введение.

Безопасность работы конструкций нефтегазового комплекса во многом определяется их фактическим состоянием, важную роль в оценке которого занимают метод твердометрии. Эти методы находят применение при диагностировании конструкций с целью:

- первичной паспортизации технического объекта, когда отсутствуют или имеются не полные исходные данные о материале;
- диагностирования технического объекта для определения влияния условий эксплуатации на изменение физико-механического состояния металла;
- диагностирования технического объекта для определения продолжительности его дальнейшей эксплуатации.

Для большинства действующих конструкций твердость является единственно доступным к измерению показателем механических свойств, так как отбор проб и образцов для лабораторных исследований практически невозможен. Это обусловило развитие и применение методов измерения твердости металлов с помощью переносных приборов [1].

В данном учебном пособии приводится методика оценки механических характеристик металла и сварных соединений трубопроводов с использованием метода твердометрии. Рассматриваются современные переносные приборы для измерения твердости. Даются практические навыки по работе ними в производственных условиях.

## 2. Методы и приборы для измерения твердости

**Твердость** – это свойство материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации участков его поверхности при местных контактных воздействиях со стороны другого более твердого металла.

Наиболее распространенными методами замера твердости являются:

- метод Виккерса – HV (ГОСТ 2999), основанный на вдавливании в поверхность металла алмазного индентора в форме четырехгранной пирамиды с углом при вершине  $\approx 136^{\circ}$ ;
- метод Бринелля (ГОСТ 9012), основанный на вдавливании в металл стального шарика определенного диаметра;
- метод Роквелла (ГОСТ 9013), основанный на использовании в качестве индентора алмазного конуса с углом при вершине  $120^{\circ}$  и радиусом закругления 0,2 мм или стального шарика диаметром 1,5875 мм.

Выбор метода определения твердости зависит от различных факторов: твердости материала, размеров и формы образца (детали), толщины измеряемого слоя материала. Числа твердости, получаемые различными методами, связаны между собой и, с некоторым приближением, могут быть переведены друг в друга (табл.1.1).

Таблица 1.1

## Переводные значения твердости

Значения твердости для различных методов измерения*			Значения твердости для различных методов измерения*		
HRC	HV	HB	HRC	HV	HB
20	238	238	44	444	420
22	249	249	46	469	442
24	261	261	48	497	
26	273	273	50	527	
28	285	285	52	560	
30	298	298	54	596	
32	313	311	56	631	
34	328	325	58	671	
36	347	340	60	715	
38	369	358	62	761	
40	393	379	64	811	
42	419	399	66	867	

Измерение твердости проводят для проверки соответствия твердости основного металла и сварных соединений различных конструкций требованиям нормативно-технической документации; определения механических свойств металла (косвенным методом); выявления изменений в материале, возникших в результате применения технологии изготовления, ремонта или в связи с длительной эксплуатацией.

Измерение твердости может производиться непосредственно на действующей конструкции и в лабораторных условиях на образцах металла.

Измерение твердости в полевых условиях производится в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (ГОСТ 22761, ГОСТ 22762, ГОСТ 18661) с использованием переносных твердомеров статического или динамического действия. Технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 1.2.

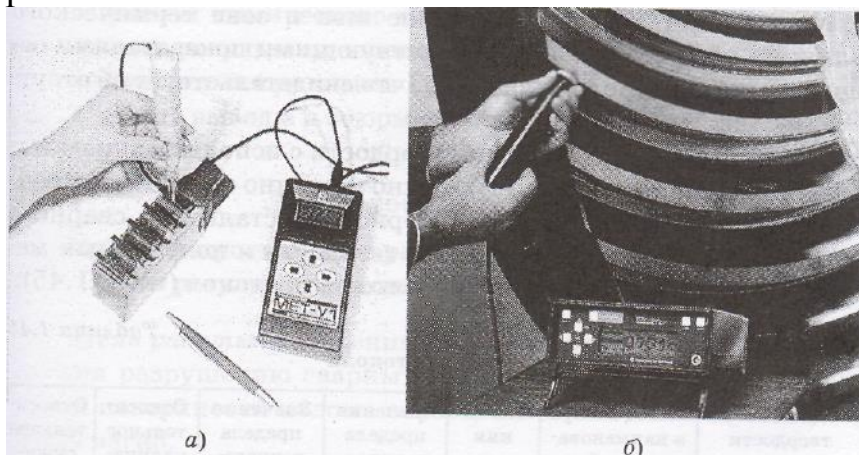
Таблица 1.2

## Технические характеристики переносных твердомеров

Марка твердомера	Форма и размер индентора	Испытательные нагрузки, Н	Тип отсчетного устройства	Обработка результатов измерений	Примечание
1	2	3	4	5	6
МЭИ -Т7	шарики диаметром 1-10 мм		микроскоп, индикатор	ручная по таблицам	снабжен приспособлением для жесткого крепления к трубопроводу
MICRODUR MIC 10 R	алмазная пирамида	0,3; 1,0; 5,0; 10,0	цифровой дисплейный индикатор	автоматический режим перевода, память на 3000 точек, возможно подключение к компьютеру	Малогабаритный
MICRODUR 2	алмазная пирамида	0,3; 1,0; 5,0; 10,0	цифровой дисплейный индикатор	автоматический режим перевода, память на 3000 точек, возможно подключение к компьютеру	Возможно производить измерения в любых пространственных положениях на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях с радиусом кривизны не менее 15 мм
ТЭМП-2	Шарик диаметром 3 мм		цифровой дисплейный индикатор	автоматический режим перевода, память на 99 точек, возможно подключение к компьютеру	Возможно производить измерения в любых пространственных положениях на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях.
УЗИТ-3	алмазная пирамида	1,5	цифровой дисплейный индикатор	Ручная обработка результатов измерения	Снабжен приспособлением для измерения твердости на цилиндрических поверхностях с радиусом кривизны от 5 до 50 мм
МЕТ-У1	алмазная	19,6	цифровой	Обработка	Возможно

	пирамида		дисплейный индикатор	результатов измерений, их усреднение, запись и обработка данных в архиве, память на 100 точек, возможно подключение к компьютеру	производить измерения в любых пространственных положениях на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях с радиусом кривизны не менее 5 мм
МЕТ-Д1	шарик диаметром 3 мм		цифровой дисплейный индикатор	Обработка результатов измерений, их усреднение, запись и обработка данных в архиве, память на 100 точек, возможно подключение к компьютеру	Возможно производить измерения в любых пространственных положениях на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях с радиусом кривизны не менее 5 мм
МЕТ-УД	алмазная пирамида, шарик диаметром 3 мм	19,6	цифровой дисплейный индикатор	Обработка результатов измерений, их усреднение, запись и обработка данных в архиве, память на 100 точек, возможно подключение к компьютеру	Состоит из двух сменных измерителей (ультразвукового и динамического принципа действия) и одного универсального электронного блока. Обладает всеми возможностями твердомеров типа МЕТ-У1 и МЕТ-Д1

Внешний вид некоторых видов переносных твердомеров представлен на рис.1.1.



**Рис. 1.1.** Внешний вид (а) и способы применения переносных

При определении твердости сварного соединения измерения проводят для всех зон контролируемого сварного соединения: металла шва (на усилении), металла зоны термического влияния (от линии сплавления вдоль зоны термического влияния на расстояние до 25-30 мм) и основного металла.

Анализ замеров твердости состоит в оценке возможной неравнопрочности основного металла и сварного соединения, определяемой по уровню повышения или понижения ее значений в отдельных участках по отношению к твердости основного металла. На рис.1.2 приведен пример измерения твердости по Виккерсу в сварном соединении. Замер твердости производили с шагом в 1 мм. Как видно из графика, значительного превышения или понижения твердости в металле шва и зоне термического влияния по сравнению с соответствующими показателями основного металла не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии закалочных структур или разупрочнения.

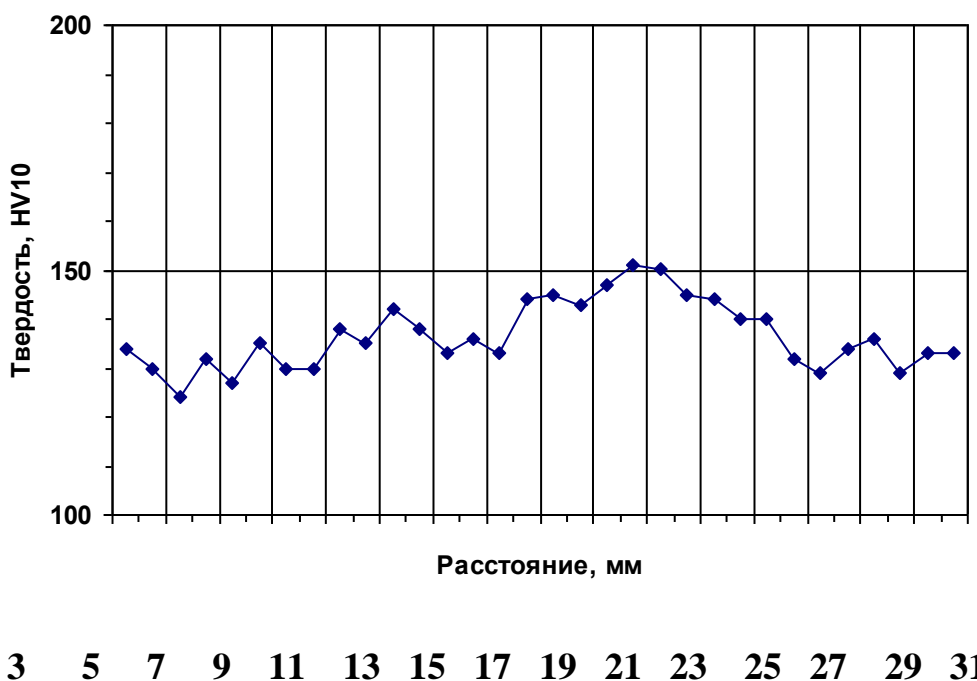


Рис. 1.2  
Характер изменения твердости в сварном соединении

## Взаимосвязь твердости металла с его прочностными и пластическими характеристиками

**Предел прочности ( $\sigma_b$ , МПа)** – напряжение разрушения образца при одноосном растяжении, определяемое как отношение нагрузки, при которой происходит разрушение к начальной площади поперечного сечения рабочей части образца.

**Предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ , МПа)** – (условный предел текучести) – напряжение, при котором остаточная деформация в образце (остаточное удлинение) достигает 0,2%. Определяется как отношение нагрузки на образец при одноосном растяжении, вызывающей деформацию 0,2% к начальной площади поперечного сечения в рабочей части образца.

Значения прочностных характеристик металлов и сварных соединений определяют по результатам статических испытаний на растяжение (ГОСТ 1497 для основного металла и ГОСТ 6996 для сварных соединений). С достаточно большой степенью достоверности для определения прочностных характеристик можно использовать корреляционные соотношения между ними и результатами замеров твердости. Соотношения между значениями твердости (HV) и пределом прочности металла приводятся в ГОСТ 22761. В работе [1] для косвенного определения прочностных характеристик использованы следующие соотношения:

$$HV = 3,16 \sigma_b \quad (2.1)$$

$$HV = 3,62 \sigma_{0,2} \quad (2.2)$$

$$\sigma_b = 0,32 HV + 50 \quad (2.3)$$

$$\sigma_b = 0,365 HV^{0,989} \quad (2.4)$$

$$\sigma_b = 0,35 HV \quad (2.5)$$

$$\sigma_b = 0,362 HV \quad (2.6)$$



Применение соотношений (2.1, 2.3 – 2.6) для оценки предела прочности металла элементов обвязки компрессорной станции по значениям его твердости и сопоставление со значениями  $\sigma_B$  по ГОСТ 22761 показало, что расхождение не превышает 7% (табл.2.1) [2].

Таблица 2.1.

Фактические механические характеристики элементов обвязки КС

Объект	HV		Расчетные значения $\sigma_B$ по соотношению										$\sigma_B$ по ГОСТ 22761, МПа	
			$\sigma_B = 0,316$ HV		$\sigma_B = 0,32$ HB + 50		$\sigma_B = 0,365$ HB <sup>0,989</sup>		$\sigma_B = 0,35$ HB		$\sigma_B = 0,362$ HB			
входной шлейф и коллектор пылеуловителя	1310		414	429	400	415	429	436						
	1420		449	461	433	450	465	466						
	1520		480	490	463	481	497	492						
	1580		499	507	481	450	517	509						
	1590		502	510	484	503	520	512						
	1540		487	496	469	487	504	494						
	1600		506	513	487	506	524	514						
выходной трубопровод пылеуловителя	1250		395	412	382	396	410	420						
	1280		404	421	391	405	419	429						
	1310		414	429	400	415	429	436						
	1330		420	435	406	421	436	440						
	1340		423	438	409	424	439	442						
	1350		427	441	412	427	442	447						
	1390		439	452	424	440	455	459						
	1430		452	464	436	453	468	469						
	1440		455	467	439	456	471	471						
	1590		502	510	484	503	520	512						
входной/выходной трубопровод ГПА-3	1660	1630	525	516	530	521	505	496	525	516	543	533	530	523
	1500	1750	475	554	484	556	457	532	475	553	491	572	490	558
	1510	1710	478	541	487	545	460	520	478	541	494	559	491	543
	1390	1320	440	418	452	432	424	403	440	418	455	432	459	543
	1330	1180	421	373	435	392	406	361	421	374	436	387	440	401
	1390	1250	440	396	452	412	424	382	440	396	455	410	459	420
	135	1260	427	399	441	415	412	385	427	399	442	413	447	424

	0													
	1520	1540	481	487	490	496	463	469	491	487	497	504	492	494
	1410	1600	446	506	458	513	430	487	446	506	462	524	460	514
входной трубопровод ГПА-2	1350		427		441		412		427		442		447	
	1380		437		449		421		437		452		454	
	1390		440		452		424		440		455		459	
	1420		449		461		433		450		465		466	
	1460		462		473		445		462		478		479	
	1480		468		478		451		468		484		485	
	1490		472		481		454		472		488		490	
	1560		494		501		475		494		511		501	
	1570		497		504		478		497		514		507	
1580		500		507		481		500		517		509		
Погрешность расчета			3,2%		0,98%		6,8%		3,5%		1,25%			

В табл. 2.2 приведены экспериментальные и расчетные значения прочностных характеристик различных материалов [2].

Таблица 2.2.

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений прочностных характеристик для различных сталей.

№	Экспериментальные значения, МПа			Расчетные значения, МПа	
	Твердость HV	Предел прочности	Предел текучести	Предел прочности по (1.1)	Предел текучести по (1.2)
1	1610±3,2	470-490	409-418	509	445
2	1710±4,1	500-525	438-444	541	472
3	1680±6,1	495-515	424-436	532	464
4	1660±3,8	485-498	421-430	525	459

**Предел выносливости ( $\sigma_1$ , МПа)** – основная характеристика выносливости материала. Это наибольшее значение максимального напряжения цикла, которое выдерживает металл без разрушения при повторении заданного числа циклов нагружения. Оценка предела выносливости производится по ГОСТ 25.502 и ГОСТ 25.504.

По данным работы [3] для установления связи предела прочности и предела текучести с пределом выносливости материала предлагается целый ряд зависимостей:

$$\sigma_{-1} = 0,47 \sigma_B, \quad (2.7)$$

$$\sigma_{-1} = 0,35 \sigma_B + 122, \quad (2.8)$$

$$\sigma_{-1} = 0,25 (\sigma_B + \sigma_{0,2}) \quad (2.9)$$

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показало их наибольшую сходимость в случае определения  $\sigma_{-1}$  по уравнению (2.7) (табл.2.3).

Таблица 2.3

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений предела прочности, предела текучести, предела выносливости низкоуглеродистых низколегированных сталей

№*	Твердость (HV), МПа	Предел выносливости, МПа			
		эксперимент.	расчетные по формуле		
			(1.13)	(1.14)	(1.15)
1	144	232-256	230	220	294
2	146	196-215	214	212	282
3	212	288	308	308	352
4	230	345	334	334	371
5	239	322	346	346	380
6	204	277	297	297	347
7	165	203	240	240	301
8	311	370	454	452	460
9	185	226	270	269	323
10	147	182	213	213	281
11	140	221	230	218	274
12	160	226	232	232	295
13	200	255	290	290	339
14	150	213	218	217	284
15	180	226	262	262	318

\* №1-3 – сталь 14Г2, №4-15 – сталь 09Г2С в различных структурных состояниях.

При этом расчетные значения предела выносливости практически во всех случаях выше экспериментальных, а максимальная разница в расчетных и экспериментальных значениях 19-20%. Применение для расчета предела

выносливости углеродистых и низколегированных сталей формул (2.8-2.9) дает разницу в значениях около 35%.

**Характеристики пластичности при растяжении.** В качестве основных характеристик пластичности используют: относительное удлинение ( $\delta$ , %) и относительное сужение ( $\psi$ , %) (ГОСТ 1497).

**Относительное удлинение  $\delta$ ,** характеризует увеличение длины образца в результате деформации при растяжении.

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} * 100, [\%] \quad (2.10),$$

где:  $l_k, l_0$  – конечная и начальная длины рабочей части образца.

В работе [3] для расчета относительного удлинения конструкционных углеродистых и легированных сталей предложено следующее выражение:

$$\delta = \frac{420 * 100\%}{2\sigma_s + \sigma_{0,2}} \quad (2.11)$$

**Относительное сужение  $\psi$**  – характеризует предельную способность материала к пластическому деформированию до разрыва.

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} * 100, [\%] \quad (2.12),$$

где:  $F_k, F_0$  – конечная и начальная площади поперечного сечения образца.

Для определения относительного сужения углеродистых сталей в зависимости от их предварительной термической обработки можно использовать следующие зависимости:

-  $\psi = 105 - 0,0186HB$  (2.13)- для сталей в состоянии закалки и отпуска;

-  $\psi = 85,6 - 0,0134HB$  (2.14)- для нормализованных сталей;

-  $\psi = 105 - 0,0316HB$  (2.15)- для сталей после отжига.

Характеристики пластичности связаны с прочностными свойствами материала. При достаточно высоких значениях  $\delta$  и  $\psi$ , характерных для сталей нефтегазового сортамента ( $\delta$  не менее 16-25%,  $\psi$  не менее 50% ) прочность обычно тем меньше, чем выше пластичность. В зависимости от величины удлинения меняется разница между пределами текучести и прочности. Поэтому важной характеристикой материала является отношение  $\sigma_{0,2} / \sigma_B$  . Например, согласно СНиП 2.05.06-85, регламентирующему свойства сталей для изготовления магистральных трубопроводов это отличие должно составлять не более 0,75 – для углеродистых сталей, 0,8 – для низколегированных нормализованных сталей, 0,85 – для дисперсионно-твердеющих нормализованных и термически упрочненных сталей, 0,9 – для сталей контролируемой прокатки, включая сталь с бейнитной структурой.

### **3. Лабораторная работа**

**Цель работы** - оценка механических характеристик стали или сварного соединения по результатам измерения твердости.

#### **Методика работы с электронным малогабаритным переносным программируемым твердомером ТЭМП-2.**

##### **3.1 Назначение твердомера.**

Твердомер предназначен для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля (НВ), Роквелла (HRC), Шора (HSD), Виккерса (HV), а также определения предела прочности  $R_m$  ( $\sigma_B$ ) по ГОСТ 22761-77 для углеродистых сталей перлитного класса.

Твердомер может быть использован в производственных и лабораторных условиях в машиностроении, металлургии, энергетике и других отраслях промышленности, а также в ремонтно-монтажных организациях. Объектами измерений могут быть крупногабаритные изделия, узлы и детали сложной формы, имеющие труднодоступные зоны измерений, в том числе : сосуды давления различного назначения, (корпуса атомных и химических реакторов, парогенераторы, коллекторы, котельные барабаны, газгольдеры и т.д.), трубопроводы, роторы турбин и генераторов, валки прокатных станов, коленчатые валы, шестерни, детали и узлы различных транспортных средств, рельсы, колеса вагонов, электро- и тепловозов, промышленные полуфабрикаты, (отливки, поковки, листы, трубы) и т.д.

##### **3.2. Применение твердомера ТЭМП-2.**

- Прибор может быть применен для оперативного контроля твердости деталей массового производства в цеховых условиях, например, для оценки стабильности технологических процессов : термической, химико-термической (цементации, азотирования, оксидирования), механической обработок, сварки, обработки давлением, поверхностного упрочнения и т.д.
- Прибор можно использовать для диагностирования эксплуатируемого оборудования с целью оценки и продления его остаточного безопасного ресурса.
- Прибор позволяет производить измерения на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях с радиусом кривизны не менее 15 мм в любом пространственном их положении.

### 3.3. Устройство и принцип работы.

Твердомер представляет собой портативный электронный программируемый прибор динамического действия, состоящий из датчика и электронного блока.

Принцип измерения твердости прибором основан на определении отношения скоростей удара и отскока ударника, преобразуемого электронным блоком в условное число твердости HL, которая автоматически переводится прибором в требуемые единицы твердости HB, HRC, HSD, HV.

На лицевой стороне корпуса прибора расположены графический жидкокристаллический индикатор - ГЖКИ (в дальнейшем "дисплей") и кнопки управления.

#### Подготовка прибора к работе

Провести внешний осмотр прибора, убедиться в отсутствии механических повреждений электронного блока, датчика, соединительного кабеля.

По необходимости зачистить шлифовальной машинкой поверхность в зоне измерения диаметром около 20 мм с обеспечением параметра шероховатости не более Ra 2,5 мкм и протереть ветошью место зачистки. Предварительно удалить с поверхности окалину, окисную пленку, смазку, ржавчину и т.д.

Соединить датчик с электронным блоком. Вставить в батарейный отсек элементы питания, соблюдая полярность. Привернуть толкатель к корпусу прибора.

Проверить, чтобы опорное кольцо датчика было плотно завернуто на направляющую трубку.

Включить прибор нажатием на кнопку "MOD". При этом на дисплее должна появиться индикация в соответствии с рис. 3. 1.

Провести несколько контрольных измерений твердости на образцовой мере с твердостью близкой к твердости контролируемой поверхности.

#### Работа с прибором.

Перед проведением измерений твердости необходимо выполнить следующие операции:

Включить прибор нажатием кнопки "MOD" - на дисплее прибора появится индикация в соответствии с рис. 3.1.

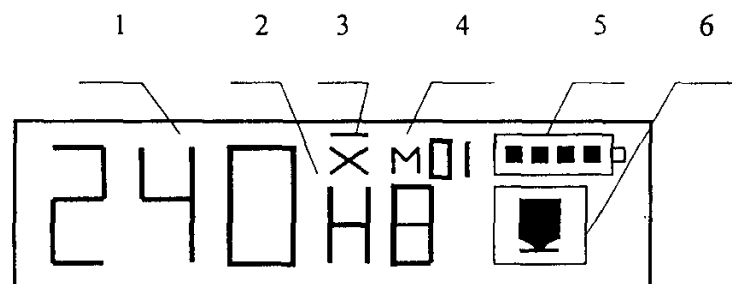


Рис. 3.1.

Рис. 1

1 - результат измерения твердости по одной из шкал твердости (HL, HB, HRC, HV, HSD) или значение предела прочности Rm ( $\sigma_B$ );

2 - наименование шкалы твердости или предела прочности;

3 - "X" появляется при усреднении результатов измерений;

4 - "M01 ...M99" появляются при внесении в память результатов измерений кнопкой "MEM", а "M01...M99" появляются при выводе на дисплей прибора результатов измерений из буфера памяти этой же кнопкой и их просмотре кнопками "< >";

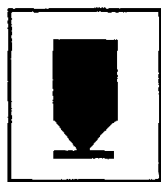
5-



максимальная степень заряда батарей - 4,5 В

минимальная степень заряда батарей - 3,9 В

6-



положение датчика относительно поверхности измеряемого изделия

Повторным нажатием кнопки "MOD" \* перейти в режим выбора шкал твердости (HB, HRC, HSD, HV, Rm). Кнопками "< >" выбрать требуемую шкалу твердости.

\* -следует иметь ввиду, что при выборе режимов шкал твердости, положения датчика и работы подсветки индикация сохраняется в течение 3 - 4 сек. Поэтому выбирать режимы необходимо быстро, а в случае возврата в исходную индикацию дисплея (рис. 3.1), необходимо начать заново.

Диапазоны измерения твердости по шкалам:

Роквелла	(22-68)	HRC
Бринелля	(100-450)	HB
Шора	(22-99)	HSD
Виккерса	(100-950)	HV

Пределы относительной допускаемой погрешности измерений твердости при поверке прибора по образцовым мерам твердости 2-го разряда по ГОСТ 9031-78 и ГОСТ 8.426-81 следующие:

Тип мер твердости	Шкала твердости	Значение твердости образцовой меры	Пределы относительной допускаемой погрешности. %
МТР ГОСТ 9031-78	HRC	25 ±5 45 ±5 65 ±5	3*
МТБ ГОСТ 9031-78	HB	100 ±25 200 ± 50 400 ± 50	
МТВ ГОСТ 9031-78	HV	450 ±50 800 ± 75	
МТШ ГОСТ 8.426-81	HSD	30 ±7 60 ±7 95 ±7	

\* Указанная погрешность достигается при программировании прибора (см. п. 8) на образцовых мерах твердости, используемых для его проверки.

Нажав кнопку "MOD" еще раз, переходим в режим выбора положения датчика (сверху вниз, горизонтально, снизу вверх) относительно поверхности измеряемого изделия.

Кнопками "< >" выбрать требуемую позицию датчика.

Нажав кнопку "MOD" еще раз, переходим в режим выбора режима подсветки ("подсветка OFF" - подсветка выключена, "подсветка ON"-включена постоянно, "подсветка 15 с" - включена на 15 сек после последнего измерения твердости или после нажатия на любую из кнопок клавиатуры).

Кнопками "< >" выбрать требуемый режим работы подсветки. По истечении 3 - 4 сек индикация дисплея автоматически переходит в выбранный режим работы (см. рис.3. 1).

Если необходимо изменить только один из режимов, то последовательным нажатием кнопки "MOD" можно войти в искомый режим и внести требуемое изменение.

Нажать на кнопку "X" для стирания предыдущих результатов в буфере усреднения.

Толкателем плавно загрузить ударник с торцевой части датчика до защелкивания и вынуть толкатель из датчика.



Датчик установить нормально к испытываемой поверхности, плотно прижав его одной рукой, а другой - нажать на спусковую кнопку. После соударения ударника с контролируемой поверхностью на дисплее прибора появится результат измерения в числах выбранной шкалы.

Таким образом проводят несколько измерений.

Среднее значение результатов измерений определяется нажатием кнопки "X", после чего все исходные для усреднения данные автоматически стираются. Каждый результат измерения (включая усредненные значения) может быть внесен в буфер памяти прибора нажатием кнопки "MEM". Нажав, и удерживая кнопку "MEM" в течение 3 сек. (см. п. 3.3.), входим в режим просмотра запомненных данных (кнопками "< >"), находящихся в буфере памяти прибора. Выйти из режима просмотра запомненных данных можно нажав кнопку "MEM".\*

Прибор отключается автоматически через 2 минуты. Для последующей активации дисплея необходимо кратковременно нажать кнопку "MOD".

Для получения корректных результатов измерения твердости минимальное расстояние между точками измерений (отпечатками) должно быть не менее 3 мм, повторные измерения в одной и той же точке не допускаются.

## Порядок выполнения работы

- Ознакомиться с работой **переносного программируемого твердомера ТЭМП-2.**
- Зачистить участки поверхности трубы, на которых предполагается проводить измерение твердости.
- Провести измерения твердости
- С использованием соотношений 2.1-2.15 определить механические характеристики металла трубопровода. Результаты замеров твердости и полученных механических характеристик заносятся в протокол (табл.3.1)

Таблица 3.1.

Место замера твердости	Метод замера и наименование прибора	Значения твердости	Значения предела прочности, МПа	Значения предела текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Основной металл						
Сварной шов						
Расстояние от линии сплавления вдоль зоны термического влияния						

- С учетом данных о марке стали трубопровода сопоставить результаты полученных механических характеристик с нормативной документацией.
- Сделать выводы и оформить отчет.

## **Контрольные вопросы**

1. Обосновать цель работы.
2. Основные методы замера твердости.
3. Приборы для измерения твердости стали.
4. Взаимосвязь твердости с другими механическими характеристиками.
5. Основные нормативные документы, определяющие требования к механическим характеристикам трубных сталей и сварных соединений газопроводов.

### Литература.

1. Методы исследования материалов / Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О. и др. – М: Мир, 2004. – 161 с
2. Оценка фактических параметров металла технических объектов нефтегазового комплекса / Ефименко Л.А., Коновалова О.А., Камардинин В.П. и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1999. - №4 – С.35-36.
3. Шишкин А.В. Электротехническое металловедение: Учебное пособие. - Новосибирск: Из-во НГТУ, 1997. – 45 с.
4. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. Металловедение и термическая обработка сварных соединений: Учебное пособие. -М.: Логос, 2007.-456 с.: ил.