

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ

Глушкова Д.Б.<sup>1</sup>, Воронков А.И.<sup>1</sup>, Демченко С.В.<sup>1</sup>, Викторова Е.В.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
<sup>2</sup>НПП «Укринтех»

**Аннотация.** При повышении долговечности и надежности изделий большую роль играет контроль свойств деталей, неразрушающий экспресс-контроль – определение твердости. Оборудование для измерения твердости очень разнообразно, оно постоянно модифицируется и совершенствуется. Используют габаритные, портативные, стационарные и переносные твердомеры. Для повышения точности измерений необходимо соблюдать ряд требований к контролируемым изделиям и твердомерам (калибровка, поверка твердомера и мер твердости). В работе исследованы возможности различных методов измерения твердости и твердомеров, проведены сравнительные испытания образцов и мер твердости, изготовленных из различных материалов, при тестировании различными инденторами. Проведен химический и металлографический анализ материалов мер и исследованных образцов. Даны рекомендации по повышению точности измерений твердости деталей, предусматривающие определенный алгоритм проведения испытаний и использование статистических данных для каждого материала.

**Ключевые слова:** твердость, твердомер, меры твердости.

### Введение

Постоянная необходимость совершенствования технологических процессов в машиностроении включает два направления. Первое – это разработка новых материалов, сочетающих в себе различные свойства, например, высокий коэффициент трения с низкой интенсивностью изнашивания, высокую прочность с достаточной пластичностью. Для систем, работающих в экстремальных условиях, необходимы материалы с особыми свойствами – коррозионно-, износо-, радиационно-устойчивые.

Второе направление – это современные технологии обработки, с помощью которых можно обеспечить в деталях требуемое сочетание необходимых свойств.

### Анализ публикаций

В комплексе проблем повышения надежности и долговечности машин особое место занимает вопрос своевременного и постоянного контроля свойств. Определение твердости позволяет проведение 100 % контроля деталей шахтного оборудования. Испытания не являются разрушающими, замеры можно производить непосредственно на изделии.

### Полученные результаты и обсуждение

Постоянно разрабатывается и совершенствуется достаточно широкий спектр оборудования для измерения твердости. Возможно измерить твердость крупногабаритных дета-

лей на специализированных твердомерах с большим рабочим пространством, которые проектируют и изготавливают специально для таких задач (рис. 1).



Рис. 1. Специализированный твердомер

В тех случаях, когда выпуск крупных деталей мелкосерийный, вариант с крупногабаритными твердомерами не оправдан экономически – срок его окупаемости становится неразумно большим. Причина этого в высокой стоимости приобретения прибора и отсутствии массовой загрузки измерительных операций.

Для ряда экспресс-измерений твердости используют портативные твердомеры. Они выпускаются двух видов в зависимости от применяемого преобразователя: ультразвуковые (UCI метод) и динамические (метод Лейба) (рис. 2). Для определения значений твердости методом UCI диагонали отпечатка не определяют оптически, как это принято в классических способах. Твердость определяют косвенным методом, посредством фиксирования изменения ультразвуковой частоты и расчетом (рис. 2, а – фотография, в – схема). Аналогично определение значений твердости методом отскока (Лейба) проводят расчетом отношения скоростей бойка, нахо-

дящегося внутри датчика, до и после удара (рис. 2, б – фотография, г – схема). Таким образом, полученные значения твердости – это результат преобразования значений сигналов от датчика в величину твердости по заданному алгоритму.

Для получения корректных и достоверных результатов следует соблюдать следующие требования к контролируемому изделию:

- контроль массы изделия;
- контроль толщины изделия (на участке контроля);
- контроль шероховатости поверхности (на участке контроля).

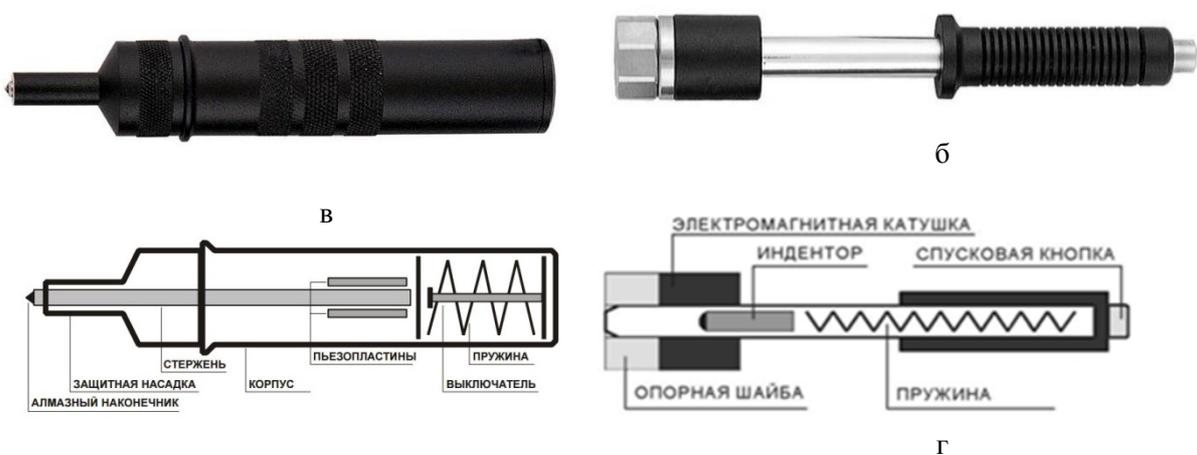


Рис. 2. Фотография и устройство датчиков портативного твердомера

Для получения значений твердости заданного уровня точности твердомер должен быть откалиброван по применяемой шкале на специальных мерах твердости. Меры твердости, на которых прибор калибруется, должны иметь свидетельства о поверке. Далее, после калибровки, следует получить аналогичное свидетельство о поверке уже на прибор. Таким образом, можно гарантировать точность, работоспособность и применимость прибора.

Когда все нюансы настройки прибора соблюдены, на стандартных мерах твердости (рис. 3) прибор показывает значения в требуемом интервале погрешности. Абсолютная погрешность измерения портативным твердомером изменяется в зависимости от диапазона измеряемой величины, и с увеличением значения твердости эта погрешность растет (для твердомера УПТ ТКМ – 359, например, от 90 до 150 НВ  $\sim \pm 10$  НВ, от 150 до 300 НВ  $\sim \pm 15$  НВ, от 300 до 450 НВ  $\sim \pm 20$  НВ). При этом относительная погрешность с увеличением номинального значения твердости уменьшается (от 90 до 150 НВ она составляет

6,67–11,11 %; от 150 до 300 НВ 5–10 %; от 300 до 450 НВ соответственно 4,44–6,67 %).



Рис. 3. Стандартные меры твердости для калибровки

Был проведен эксперимент: изготовили меры твердости из материала, отличающегося от традиционного материала калибровочных мер. Для подтверждения должного качества и постоянной твердости изготовленных мер по всей поверхности их твердость была измерена на нескольких стационарных твердомерах по разным шкалам. Меры были измерены на стационарном комплексе «Ernst

Eagle 3000» (рис. 4). Твердость СМТП также была измерена на стационарном приборе «Qness Q10 A+» по шкале Виккерса. Измеренная твердость в трех точках была равна: 187 HV10; 187 HV10; 186 HV10. Можно сделать вывод, что мера имеет равномерную твердость по всей рабочей поверхности. На стационарном твердомере проводили определение твердости по различным шкалам при разной нагрузке (рис. 5).

Далее проводили измерение твердости на том же материале портативными твердомерами различных производителей (табл. 1). При многократном повторении измерений значения разницы твердости «известная-измеренная», полученные на одном приборе, меняются в зависимости от материала контроля (табл. 2). Как видно из данных табл. 3, все твердомеры показывают разные результаты в близком диапазоне значений.

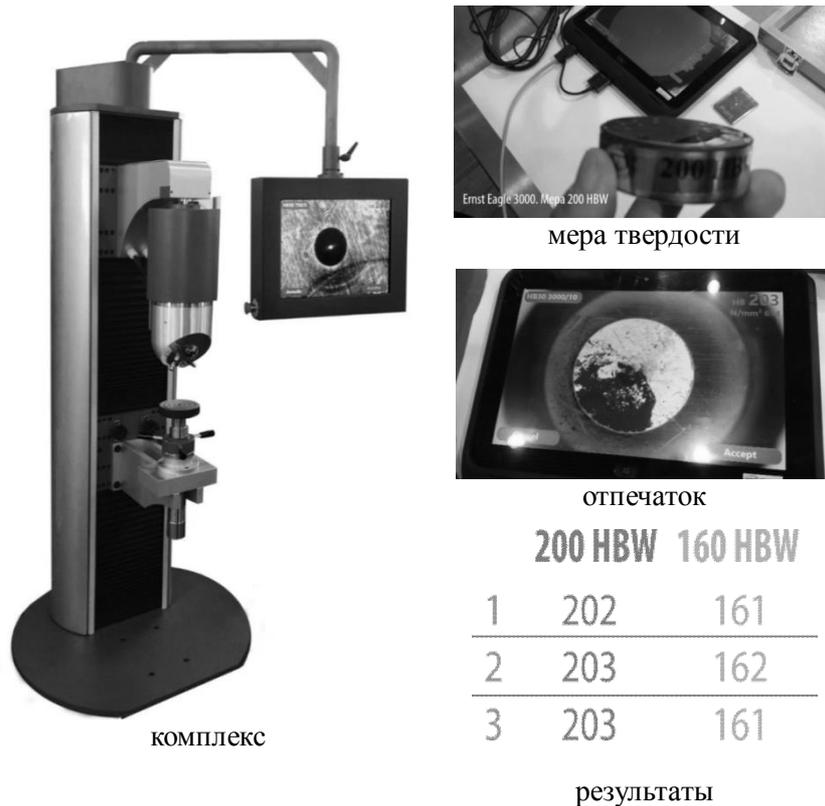


Рис. 4. Процесс измерения твердости на стационарном комплексе «Ernst Eagle 3000»

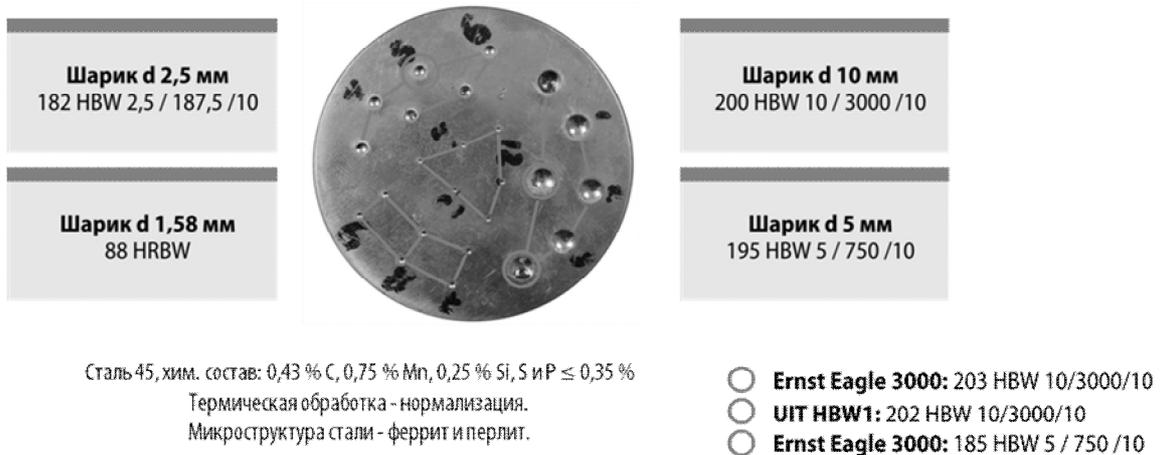


Рис. 5. Стандартная мера твердости предприятия (СМТП)

Таблица 1 – Значения твердости, полученные портативными твердомерами на СМТП

## ПОРТАТИВНЫЕ ТВЕРДОМЕРЫ, МЕРЫ 200НВW и 160 НВW

Proceq Equastat 3			Proceq Equotip			Ernst Computest		
								
1	168,1	140,2	1	158,9	131,4	1	188	152
2	166,6	145,3	2	160,3	137,8	2	190	163
3	152,6	144,2	3	166,6	138,2	3	186	153

Ernst Dynotest			Ernst Handy Esatest			UIT TKM-459 C		
								
1	189,2	157	1	189	147	1	171	133
2	178,0	153	2	190	145,5	2	174	137
3	178,0	158	3	186	149,0	3	170	136

Таблица 2 – Значения твердости, полученные портативными твердомерами на различных материалах СМТП

Параметры	Истинное значение НВ	Константа ТД НВ	ТЕМП-4 НВ	TKM-459C НВ
Сталь 34ХН1М № 1	208	195	225	215
	330	317	365	310
	363	342	380	350
Сталь 35 № 2	160	174	150	170
	235	241	218	240
	330	325	317	342
	439	430	425	410
Сталь 40 № 3	145	140	164	138
	351	345	357	347

Таблица 3 – Абсолютная и относительная погрешности измеренных значений твердости портативными твердомерами

Название твердомера	Мера, НВ	Среднее измеренное значение, НВ	Абсолютная погрешность, НВ	Относительная погрешность, %	
Proceq Equastat 3	160	143	17	10,63	
	200	162	38	19,00	
Proceq Equotip	160	135,8	24,2	15,13	
	200	162	38	19,00	
Emst Computest	160	156	4	2,50	
	200	188	12	6,00	
Emst Dynotest	160	156	4	2,50	
	200	182	18	9,00	
Emst HandyEsatest	160	147	13	8,13	
	200	188	12	6,00	
UIT ТКМ-459	160	135	25	15,63	
	200	172	28	14,00	
	34ХНМ	208	215	-7	3,37
		330	310	20	6,06
		363	350	13	3,58
	Сталь 35	160	170	-10	6,25
		235	240	-5	2,13
		330	342	-12	3,64
		439	410	29	6,61
	Сталь 40	145	138	7	4,83
351		347	4	1,14	
Константа ТД	34ХНМ	208	195	13	6,25
		330	317	13	3,94
		363	342	21	5,79
	Сталь 35	160	174	-14	8,75
		235	241	-6	2,55
		330	325	5	1,52
		439	430	9	2,05
	Сталь 40	145	140	5	3,45
		351	345	6	1,71
	Темп-4	34ХНМ	208	225	-17
330			365	-35	10,61
363			380	-17	4,68
Сталь 35		160	150	10	6,25
		235	218	17	7,23
		330	317	13	3,94
		439	425	14	3,19
Сталь 40		145	164	-19	13,10
		351	357	-6	1,71

Следует также отметить, что каждая мера была протестирована на стационарном твердомере при разной нагрузке, различными инденторами по стандартным шкалам.

Был сделан химический анализ материалов мер и металлографические исследования образцов. На каждую меру был изготовлен паспорт, включающий все необходимые данные.

Пример паспорта на меру твердости предприятия представлен на рис. 6.



Рис. 6. Паспорт на СМТП

Таблица 4 – Показания динамического твердомера UIT ТКМ-359М после проведения калибровки на различных мерах

№ замера	Мера 375 НВ	Мера 205 НВ	Мера 106 НВ	СМТП 225 НВ
1	375	217	102	231
2	375	225	98	220
3	375	216	98	215
4	375	210	107	230
5	375	211	103	224
6	374	219	105	214
7	375	217	106	216
Среднее значение	375	217	103	222

### Выводы

Если на предприятии нет возможности изготовить меры из контролируемого материала, можно рекомендовать такой алгоритм калибровки прибора и измерения: прибор необходимо проверить на аналогичном материале (со схожими габаритами изделия, значениями твердости в близких диапазонах и схожим химическим составом) с известной твердостью и выяснить, насколько он завышает или занижает эти значения твердости. Желательно набрать статистику измерений результатов и вывести среднюю погрешность прибора на данном материале. После этого уже с учетом такой погрешности проводить измерения.

При указанном поведении приборов в процессе их работы гарантировать достоверность полученных данных в пределах допустимых погрешностей невозможно. Тем не менее, можно минимизировать погрешность при измерении твердости и повысить точность измерения, выполняя следующие предписания:

- твердомер должен быть поверен и иметь свидетельство о поверке;
- поверенные стандартные меры твердости должны быть укомплектованы свидетельством о поверке и паспортом на них;
- поверенные СМТП, которые изготовленные из того же материала, что и контролируемая деталь, должны тоже иметь свидетельство и паспорт со значениями твердости (рис. 7);
- записанные в твердомер шкалы для различных контролируемых материалов по стандартным шкалам.

Тогда твердомер будет измерять твердость материала более корректно и с наименьшей допустимой погрешностью (табл. 4).

### Литература

1. Тушинский Л.И. Теория и технология затвердевания металлических сплавов / Л. И. Тушинский. - Новосибирск: Наука, 1990. - 306 с.
2. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.
3. Роїк, Т.А., Глушкова, Д.Б., Тарабанова, В.П. Вплив хімічного складу на твердість і зносостійкість деталей // Вісник НТУ «КПІ». - Харків: НТУ «КПІ», 2012. - №63. - С. 92–98.

### References

1. Tushinsky L.I. Theory and technology of hardening of metal alloys. – Novosibirsk: Science, 1990. – 306 p.
2. Pronikov A.S. Reliability of machines. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 592 p.
3. Roik T.A., Glushkova D. B., Tarabanova V.P. The influence of chemical composition on the hard-

ness and wear resistance of parts // Bulletin of NTU «KPI». – Kharkov: NTU «KPI», 2012. – № 63. – P. 92–98.

**Глушкова Діана Борисівна** – д.т.н., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 097-481-15-93, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Воронков Олександр Іванович** – д.т.н., проф. кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: +038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Костина Людмила Леонидівна** – к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 066-150-89-72, [kostina4991@gmail.com](mailto:kostina4991@gmail.com)

**Воронова Єлизавета Михайлівна** – доцент кафедри іноземних мов, тел.+038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Демченко Сергій Володимирович** – асистент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 097-525-85-13, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Викторова Єлена Вікторівна** – інженер кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 097-525-85-13, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, г. Харків, 61002, Україна.

#### Вдосконалення методів експрес-контролю деталей

**Анотація.** У підвищенні довговічності й надійності виробів велике значення має контроль властивостей деталей, неруйнівний експрес-контроль – визначення твердості.

Устаткування для вимірювання твердості дуже різноманітне, воно постійно модифікується та вдосконалюється. Використовують габаритні, портативні, стаціонарні та переносні твердоміри. Для підвищення точності вимірювань необхідно дотримуватися низки вимог до контрольованих виробів і конструкцій. Твердоміри (калібрування, повірка твердоміра і заходів твердості). У роботі досліджені можливості різних методів вимірювання твердості та твердомірів, проведені порівняльні випробування зразків і заходів твердості, виготовлених з різних матеріалів, у процесі тестування різними інденторами. Проведено хімічний і металографічний аналіз матеріалів заходів і досліджених зразків. Наведено рекомендації щодо підвищення точності вимірювань твердості деталей, що передбачають певний алгоритм проведення випробувань і використання статистичних даних для кожного матеріалу.

**Ключові слова:** твердість, твердомір, міри твердості.

**Глушкова Діана Борисівна** – д.т.н., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 097-481-15-93, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Воронков Олександр Іванович** – д.т.н., проф. кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: +038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Костина Людмила Леонидівна** – к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 066-150-89-72, [kostina4991@gmail.com](mailto:kostina4991@gmail.com)

**Воронова Єлизавета Михайлівна** – доцент кафедри іноземних мов, тел.+038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Демченко Сергій Володимирович** – асистент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: +038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Викторова Єлена Вікторівна** – інженер кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: +038-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

#### Improving express control of details

**Abstract.** With an increase in the durability and reliability of products, an important role is played by the control of the properties of parts, non-destructive express control - the determination of hardness.

The equipment for measuring hardness is very diverse, it is constantly being modified and improved. Dimensional, portable, stationary and portable hardness testers are used. To increase the accuracy of measurements, it is necessary to comply with a number of requirements for controlled products and hardness testers (calibration, calibration of hardness testers and hardness measures). The work investigated the possibilities of various methods of measuring hardness and hardness testers, conducted comparative tests of samples and hardness measures made from various materials, when tested with various indenters. A chemical and metallographic analysis of the materials of the measures and the studied samples was carried out. Recommendations are given to improve the accuracy of measurements of the parts hardness, providing for a specific testing algorithm and the use of statistical data for each material.

**Key words:** hardness, hardness tester, measures of hardness.

**Hlushkova D.** – Doct. Sc., Chef of Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Voronkov A.** – Doct. Sc., Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-92, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Kostina L.** – PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-92, [kostina4991@gmail.com](mailto:kostina4991@gmail.com)

**Voronova E.** – PhD, Associate Professor, Department of Foreign Languages, tel: 057-707-37-29, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Demchenko S.** – Assistant Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-92, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

**Victorova E.** – Engineer Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-92, [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua)

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.