

## **О РАЗВИТИИ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПРОДЛЕНИИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Анализируются проблемы измерений твёрдости металлов динамическими методами. Предложены необходимые мероприятия, которые обеспечат требуемую достоверность результатов измерений твёрдости металла и повысят безопасность эксплуатации сложного оборудования высокотехнологичных производств.*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, твёрдость, динамический метод Леба, безопасность.*

*Syasko V.A., Nikazov A.A., Umanskiy A.S.*  
**ABOUT DEVELOPMENT DYNAMIC  
HARDNESS MEASURING METHODS OF METALS  
DURING EXTENSION OF THE HIGH-TECH EQUIPMENT LIFE**

*The problems of dynamic hardness measurements were analyzed. Necessary steps are proposed to assure required true quantity value of hardness measurements and the operational safety of complex equipment in high-tech industries will be increased.*

*Key words: non-destructive testing, hardness, dynamic hardness measurements by Leeb, safety.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 17 октября 2016 г.

Обеспечение надёжной работы трубопроводов, насосов, турбин и другого оборудования зависит от состояния металла. Как известно, в ходе эксплуатации при длительном тепловом воздействии агрессивных жидкостей, протекании токов и воздействии внешней среды происходят изменения микроструктуры металла, что ведет к снижению механических свойств стали. Для обеспечения безаварийной работы оборудования, для которого принимаются решения о продлении срока службы (ресурса) в соответствии с РД 03-484-02 [1], необходим регулярный контроль элементов неразрушающими методами.

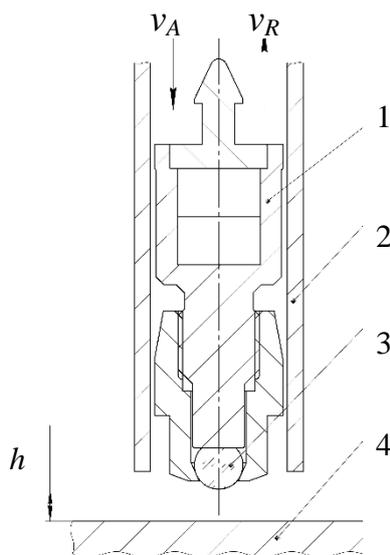
Одной из важнейших механических характеристик, определяющих состояние металла, является его твёрдость. Измерения твёрдости широко распространены в промышленности при контроле эксплуатационных характеристик изделий в процессе производства и эксплуатации при наличии соответствующих методик. Контроль твёрдости сталей, как правило, осуществляется по методам Бринелля, Виккерса или Роквелла. Установки, обеспечивающие измерение значений твёрдости по этим шкалам представляют стационарные установки. При контроле твёрдости элементов оборудования, находящихся в эксплуатации, необходима вырезка специальных образцов, которая приводит к увеличению количества сварных соединений и нарушению целостности структуры оборудования.

Ввиду этого в текущей практике контроля твёрдости сталей все чаще применяются малогабаритные переносные твердомеры, реализующие динамический метод измерения. Они могут быть использованы вне центральных заводских лабораторий непосредственно на поверхности металлических изделий объектов энергетики и т.п.

В существующих отечественных твердомерах, реализующих динамический метод измерения, твёрдость определяют по параметрам отскока падающего ударника. Принцип их работы близок к методу измерения твёрдости HL по Либу, который был разработан в 70-х годах прошлого века сотрудниками компании Ргосец [2]. Суть метода заключается в измерении соотношения скоростей  $v_i$  падающего ударника до и после соударения с поверхностью исследуемого образца (рис. 1). Твёрдость по Либу  $HL$  рассчитывается в соответствии с формулой:

$$HL = (v_R/v_A) \cdot 1000,$$

где  $v_R$  – скорость отскока;  
 $v_A$  – скорость удара.



**Рис. 1.** Схема измерения твёрдости по Либу:  
 1 – корпус ударника; 2 – направляющая трубка;  
 3 – сферический наконечник индентора; 4 – испытуемый образец

На сегодняшний день существует несколько различных шкал твёрдости по Либу для преобразователей, отличающихся формой наконечника (радиусом  $R$ ) и массой ударника  $M$ , а также его кинетической энергией  $E_A$  при падении. Метод стандартизован в США и Европе: DIN 50156 (1-3), ASTM A956, ISO/DIS 16859 (1-3) [3-5]. Приборы, основанные на этом методе, позиционируются как портативные твердомеры для практически всего спектра конструкционных металлов и сплавов: от алюминия до закаленных сталей.

В перечисленных стандартах строго определены технические параметры твердомеров, реализующих метода Либа:

- обозначение шкал:  $HLx$  (В зависимости от параметров ударника  $x = D, S, E, DL, D+15, C, G$ );

- нормируемые параметры (в качестве примера, для шкал  $D, E$ ):

а) кинетическая энергия удара  $E_A = 11,5 \text{ мДж}$ ;

б) скорость удара  $v_A = 2,05 \text{ м/с}$ ;

в) максимальное расстояние наконечника индентора от поверхности образца при измерении скорости  $2,00 \text{ мм}$ ;

г) масса ударника  $M = 5,45 \text{ г}$ ;

д) радиус наконечника  $R = 1,5 \text{ мм}$ ;

е) параметры образца: масса не менее  $5 \text{ кг}$ , толщина не менее  $25 \text{ мм}$  (незакрепленный) и  $3 \text{ мм}$  (закрепленный).

В России динамические твердомеры вносятся в Госреестр СИ под видом твердомеров по стандартизованным шкалам. При этом происходит подмена понятий, так как поверка проводится по мерам твёрдости соответствующих шкал для статических твердомеров. По сути, имеет место градуировка шкалы прибора путем подгонки нужных коэффициентов пересчета таким образом, чтобы его показания соответствовали значениям измеряемых мер. В то же время, если таким прибором провести измерения мер той же шкалы, но из другого материала, то он выдаст неверные значения. В результате, прибор дает правильные результаты измерений только на материалах, аналогичных тем, из которых изготовлены меры, на которых он был поверен. При этом в описаниях типа, свидетельствах о поверке и руководствах по эксплуатации таких приборов не удалось найти ограничений их применимости для разных типов материалов. Таким образом, пользователи приборов вводятся в заблуждение относительно возможностей их использования и метрологических характеристик. Данный факт представляется весьма опасным, учитывая количество продаваемых в РФ приборов такого типа и отрасли, в которых они используются.

В качестве примеров использования сертифицированных динамических твердомеров как средств измерений по другим шкалам твёрдости можно привести отраслевые нормативные документы:

1. Инструкция Росэнергоатома: РД ЭО 0027-2005 [6]. В приведенном документе в п. 5.3.1 прямо сказано: "Приборы, основанные на методе Лееба, используют для определения твёрдости по шкале Бринелля, Виккерса или Роквелла".

2. Руководящий документ ОАО РЖД РД 32 ЦВ 050-2005 [7]. В этом документе в п. 4.1.6.3 дана ссылка на применение динамического твердомера МЕТ-Д1 для измерения твёрдости по Виккерсу: "Контроль твёрдости наплавки износостойких поверхностей. Контроль твёрдости наплавки износостойких поверхностей 240 ...300НВ проводить твердомером портативным динамическим типа МЕТ-Д1, зарегистрирован в Госреестре средств измерений № 22736-02".

3. Инструкция Федеральной службы по экологическому и атомному надзору СО 153-34.17.440-2003 [8] в приложении Р п. 1.5 сказано: "При использовании переносных приборов с относительно неглубоким внедрением шарика (менее 0,2 мм), например, типа ТЭМП-1, рекомендуется следующее число измерений".

4. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности ОАО "Сургутнефтегаз" МУ 21У-003-2004 [9] в пункте 5.13 Твердомерия сказано "Механические характеристики могут быть определены косвенными методами после измерения твёрдости с помощью ударных переносных твердомеров ВПИ-ЗМБ (ТБД-1) для определения твёрдости стальных изделий в единицах Бринелля НВ. Для определения твёрдости стальных изделий по Виккерсу НРС используются приборы... ТДМ-1, ТЕМП-2 и др., отвечающие требованиям ГОСТ 22761 и ГОСТ 22762".

В Госреестр средств измерений на сегодняшний день внесено более 2 десятков твердомеров, обозначенных как "динамические", "портативные", "малогабаритные" или "переносные". Несмотря на довольно большую историю разработки и применения динамических твердомеров, в России до сих пор не существует единства в терминологии, а также отсутствует унификация их конструкции и рабочих характеристик.

В соответствии с [4], числа твёрдости *HL* являются первичными при измерениях методом Либа. Также твердомеры по Либу имеют возможность пересчёта в наиболее часто используемые шкалы твёрдости по стандартизованным в Европе и США таблицам соответствия для наиболее распространенных групп материалов, в частности для различных типов сталей, медных сплавов, бронз, алюминиевых сплавов и т.д.

Требования и ограничения к использованию таблиц пересчета регламентированы международным стандартом ISO 18265 [10].

Негативные последствия сложившейся в России практики поверки твердомеров Либа по мерам других шкал твёрдости проявляются также в том, что отечественные "динамические" твердомеры, успешно прошедшие поверку в РФ, не могут применяться за рубежом, в частности в Европе. Причиной этого является отличие параметров преобразователей и градуировка приборов по статическим мерам твёрдости.

Из всего вышеперечисленного следует, что твердомер, который по своей конструкции, методу измерений, форме индентора, алгоритму расчёта значений твёрдости и другим существенным параметрам не соответствует стандарту на данную шкалу твёрдости, не может быть поверен по этой шкале в рамках существующих поверочных схем. Приборы, реализующие динамические методы измерения твёрдости (в частности, метод Либа), ни по одному из существенных (для методов измерения твёрдости) параметров не соответствуют действующим стандартам на методы измерения твёрдости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и Шору и вследствие этого не могут быть внесены в Госреестр средств измерений и поверяться как твердомеры по этим шкалам.

Таким образом сложившаяся в России практика использования динамических твердомеров для контроля состояния изделий из сталей и сплавов при продлении срока эксплуатации высокотехнологичного оборудования может стать причиной выхода его из строя и возникновения аварийных ситуаций. Во избежание этого необходима разработка нового стандарта на основе [3-5]. В этом случае измерение твёрдости по шкале Либа будет строго регламентировано, а конструкция и рабочие параметры "портативных динамических твердомеров" различных производителей будут унифицированы. Кроме того, следует внести соответствующие требования в нормативные документы, регламентирующие контроль состояния изделий из металлов и сплавов. Предлагаемые мероприятия позволят значительно повысить уровень промышленной безопасности и вероятность безаварийной работы оборудования.

### Литература

1. *ПД* 03-484-02. Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах (утв. постановлением Госгортехнадзора России № 43 от 5 августа 2002 г.).
2. *Leeb D.* New dynamic method for hardness testing of metallic materials // VDI-Report № 308. Pp. 123-128, 1978.
3. *ISO/DIS* 16859-1. Metallic materials Leeb hardness test. Part 1: Test method.
4. *ISO/DIS* 16859-2. Metallic materials Leeb hardness test. Part 2: Verification and calibration of the testing devices.
5. *ISO/DIS* 16859-3. Metallic materials Leeb hardness test. Part 3: Calibration of reference test blocks.
6. *ПД* ЭО 0027-2005. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твёрдости.
7. *ПД* 32 ЦВ 050-2005. Методика выполнения измерений надрессорной балки, боковых рам, пружин и рессорного комплекта при проведении плановых видов ремонта тележек 18-100.
8. *СО* 153-34.17.440-2003. Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса.
9. *МУ* 21У-003-2004. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности насосов центробежных типа ЦНС с истекшим сроком службы и определению возможности их дальнейшей эксплуатации.
10. *ISO* 18265. Metallic materials – Conversion of hardness values.