

2. Здоровцев С.В., Кушнеров Д.П., Паршков А.В., Сушко В.А. Функциональный электронный модуль контроля линейных перемещений // Материалы 10-й Международной научно-

технической конференции «Приборостроение – 2017 г. Минск 1–3 ноября 2017 г. – Минск: БНТУ 2017. – С. 48–50.

УДК 620.178

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПОДАТЛИВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНЫХ ТВЕРДОМЕРОВ**

Рудницкий В.А., Зинькевич Н.В., Кутепов А.Ю., Гнутенко Е.В., Ланцман Г.А.

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

Ни одно мероприятие по контролю и диагностике промышленных объектов не обходится без определения их физико-механических свойств. Особое место при оценке физико-механических свойств конструкций занимает измерение твердости. Данная характеристика имеет связь с прочностью, а также, при построении корреляционных зависимостей для отдельных видов материалов, с пределом текучести.

В нашей стране и за рубежом широко распространены портативные цифровые приборы, реализующие различные методы определения твердости. В зависимости от способа приложения нагрузки, портативные твердомеры подразделяются на статические и динамические. Статические твердомеры реализуют методы Бринелля, Виккерса или Роквелла, а динамические – метод отскока Лееба [1].

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа точности измерения твердости податливых конструкций портативными приборами Krautkramer TIV, ИПМ1-А и динамическим твердомером Т-10 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Портативные твердомеры

Твердомер Krautkramer TIV реализует метод определения твердости по Виккерсу в единицах HV с возможностью перевода в единицы HB или HRC по стандартизованным таблицам. Прибор ИПМ1-А – твердомер, позволяющий регистрировать диаграмму вдавливания и определять динамическую твердость по Мейеру [2]. При этом измерения в работе проводились в 2-х вариантах: используя стандартные градуировки и с применением методики корректировки показаний твердости, разработанной специально для податливых конструкций [3]. Для оценки точности измерений портативных приборов проводилось сравнение с твердостью, полученной с помощью стационарного твердомера Бринелля ТШ-2М.

В качестве податливых конструкций были выбраны трубы с диаметром 172, 170, 148 и 108 мм (рисунок 2). Толщина стенки трубы варьировалась от 9,5 до 2 мм.



Рисунок 2 – Исследуемые образцы

Для исключения фактора недостаточной массы внутри трубы на консистентную смазку притиралась массивная цилиндрическая болванка. В таблице представлены усредненные по пяти измерениям результаты, полученные на трубах стационарным и портативными приборами.

Таблица – Показания портативных твердомеров

Диаметр, мм	Толщина, мм	Твердость, НВ				
		ТШ-2М	TIV	T-10	ИПМ-1А без методики	ИПМ-1А с методикой
172	Торец	202	206	198	195	202
	8,5		200	183	194	201
	7,5		204	184	193	201
	6,5		201	175	187	196
	5,5		197	165	183	197
	4,5		198	153	168	192
170	3,5	202	125	151	196	
	Торец	240	237	236	242	243
	9,5		239	230	227	238
	8,5		235	222	231	241
	7,5		239	212	226	241
	6,5		230	206	223	238
5,5	236		203	220	238	
148	4,5	235	189	217	235	
	Торец	167	166	171	167	167
	7,5		167	142	156	164
	5,5		165	136	150	163
	4,5		164	131	143	163
3,5	170		67	112	164	
108	Торец	174	176	159	165	172
	4	140	139	110	120	137
	3		150	95	94	130
	2		147	30	62	131

На рисунке 3 представлены графики изменения показаний портативных приборов, реализующих различные методы измерения твердости на образцах труб с толщиной стенки от 9,5 мм и менее. Торце́ трубы в данном случае принимался как наиболее жесткий участок образца. На графиках он представлен крайней правой точкой, соответствующей толщине 10 мм. Для прибора ИПМ-1А на графиках также изображен размах твердости по пяти измерениям.

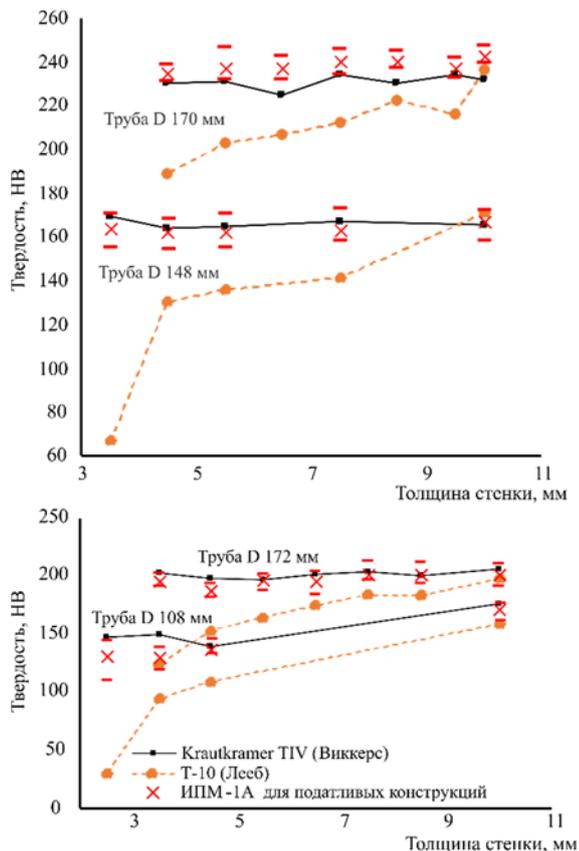


Рисунок 3 – Показания твердомеров на различных трубах

Сравнив показания приборов из таблицы и рисунка 3 можно сделать вывод о том, что динамический твердомер Т-10, реализующий метод отскока Лееба, не подходит для контроля податливых конструкций. Разница в показаниях между динамическим твердомером Т-10 и стационарным ТШ-2М при толщине стенки трубы менее 10 мм составила от 20 до 100 НВ. Прибор ИПМ-1А, при использовании алгоритмов расчета твердости Мейера по диаграмме вдавливания и стандартной градуировки, также мало применим к податливым конструкциям, хотя показания прибора менее подвержены влиянию жесткости конструкции, чем приборы, реализующие метод Лееба. Без применения разработанной методики [3] ошибка показаний твердости ИПМ-1А

на трубах с толщиной стенки менее 10 мм составила от 10 до 80 НВ.

Krautkramer TIV довольно точно определил твердость труб на различных толщинах стенки. Отклонение значений по 5 измерениям в сравнении с показаниями стационарного твердомера не превысила 10 НВ. Однако для достижения точных измерений потребовалось хорошо подготовить поверхность контролируемого образца.

ИПМ-1А, при использовании разработанной алгоритмов корректировки рассчитанной твердости для податливых конструкций не уступил по точности Krautkramer TIV. Ошибка по 5 измерениям, как и у TIV не превысила 10 НВ, что свидетельствует о работоспособности разработанной методики [3].

Таким образом при использовании динамических твердомеров, реализующих метод отскока по Леебу, для конструкций с ограниченной жесткостью необходимо проводить предварительную градуировку на образцах с известной твердостью, аналогичной жесткостью и массой, а не мерах твердости. В то время как разработанная методика, применимая как для приборов типа ИПМ-1А, так и для нового поколения твердомеров ТЩ-7, разработанных в Институте прикладной физики НАН Беларуси, позволяет проводить неразрушающий контроль непосредственно податливых конструкций типа труб, цистерн, сосудов высокого давления с толщиной стенки более 3 мм без предварительных градуировок.

Представляет интерес проведение дополнительных исследований для оценки возможности применения разработанной методики для контроля другого типа податливых конструкций: балки, фермы и др. В совокупности с проведенными исследованиями это позволит существенно расширить область применения портативных динамических твердомеров, регистрирующих диаграмму вдавливания.

### Литература

1. Лееб Д.К. определению характеристик твердости материала «L» по динамическому методу измерений «Eqoutip» / Д. Лееб. – V. 1. – № 583. – *Borichte*, 1986
2. Рудницкий В.А. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов / В.А. Рудницкий, А.В. Рабцевич // *Дефектоскопия* – 1997. – № 4. – С. 79–86.
3. Крень А.П. Моделирование ударного контакта индентора с нежесткими стальными конструкциями при измерении твердости / А.П. Крень, В.А. Рудницкий, Н.В. Зинькевич // *Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук.* – 2017. – № 4. – С. 38–45.