

УДК 620.17

## СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ, ОПРЕДЕЛЁННОЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАСТЯЖЕНИЕ, И ПО ЗНАЧЕНИЯМ ТВЁРДОСТИ

**В.И. Мощенко, проф., к.т.н., Н.А. Лалазарова, доц., к.т.н., И.В. Дошечкина, доц., к.т.н., С.В. Демченко, асп., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Проведено сравнение показателей прочности при испытаниях на растяжение и определённых согласно эмпирическим зависимостям по твёрдости, которую измеряли на твердомере Бринелля и на гипертвердомере.

*Ключевые слова:* прочность, твердость, индентирование, растяжение, гипертвердомер, твердомер Бринелля.

## ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ, ВИЗНАЧЕНИХ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТЯГ, ТА ЗА ЗНАЧЕННЯМИ ТВЕРДОСТІ

**В.І. Мощенко, проф., к.т.н., Н.О. Лалазарова, доц., к.т.н., І.В. Дошечкіна, доц., к.т.н., С.В. Демченко, асп., Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Проведено порівняння показників міцності під час випробувань на розтяг і визначених згідно з емпіричними залежностями за твердістю, яку вимірювали на твердомірі Брінелля і на гіпертвердомірі.

*Ключові слова:* міцність, твердість, індентування, розтяг, гіпертвердомір, твердомір Брінелля.

## COMPARISON OF THE STRENGTH FACTORS DEFINED IN A TENSILE-STRENGTH TEST AND BY MEASURING HARDNESS

**V. Moschenok, Prof., Cand. Sc. (Eng.), N. Lalazarova, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.), I. Doshchekina, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.), S. Demchenko, P.G., Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* The paper attempts to compare the strength factors defined in tensile-strength tests and those obtained according to empirical relationships for hardness, as measured by Brinell hardness tester and by the hyper hardness tester.

*Key words:* strength, hardness, indentation, tension, hyper hardness tester, Brinell hardness tester.

### Введение

Такие важные свойства материалов, как прочность и пластичность определяют испытаниями на растяжение. Методика проведения этих испытаний требует изготовления стандартных образцов, а это не всегда возможно. В этом случае заслуживает внимания существующее положение, что необязательно оценивать поведение материала при том виде нагружения, при котором он работает

[1]. При вдавливании индентора (измерение твёрдости) материал ведёт себя аналогично растяжению: сначала испытывает упругую деформацию, затем пластическую и, наконец, разрушение. Это позволяет оценивать прочность и пластичность по показателям твёрдости материалов, у которых существуют эмпирические зависимости между этими свойствами. Популярность этого свойства объясняется простотой его реализации и универсальностью: не нужно изготавливать

специальные образцы; можно непосредственно измерять твёрдость изделий, которые эксплуатируются; контролировать свойства любых материалов; оценивать качество крупногабаритных деталей во время технических остановок; твердомерия не требует специальной подготовки персонала [2].

### Анализ публикаций

Для оценки качества изделий на производстве наиболее распространёнными методами измерения твёрдости материалов являются Бринелль, Роквелл и Виккерс.

При измерении твёрдости по Бринеллю, согласно стандарту ДСТУ ISO 6506-1:2007 (ISO 6506-1:2005, IDT) «Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування», в качестве индентора используют твёрдые шарики различных диаметров. Интервал усилий нагружения индентора – 9,8 Н–29,4 кН. Имеется 25 шкал для выбора усилия нагружения и диаметра индентора, что усложняет выбор условий испытаний различных материалов, особенно при необходимости проведения экспресс-анализа [3]. Кроме того, метод Бринелля пригоден только для достаточно мягких материалов, а также изделий определённой толщины с учётом диаметра индентора и, следовательно, отпечатка.

В тех случаях, когда невозможно или сложно оценить показатели статической прочности, пластичности, контактной выносливости, единственным способом оценки этих свойств является твёрдость. Для различных групп материалов существуют эмпирические зависимости, устанавливающие связь этих свойств с твёрдостью по Бринеллю. Так, для сталей с твёрдостью 120–170 HBW зависимость между прочностью и твёрдостью имеет вид [4]

$$\sigma_b = 0,34 \cdot HB; \quad (1)$$

для сталей с твёрдостью 170–450 HBW

$$\sigma_b = 0,35 \cdot HB; \quad (2)$$

для сплавов на основе меди

$$\sigma_b = 0,45 \cdot HB. \quad (3)$$

По твёрдости также можно оценить предел выносливости и предел контактной выносливости стали

$$\sigma_b = (0,12 - 0,15) \cdot HB; \quad (4)$$

$$\sigma_{-1}^k = 0,2 \cdot HB. \quad (5)$$

Показатели предела выносливости и контактной выносливости во многих случаях очень важны, поскольку 90 % деталей машин эксплуатируются в условиях циклических нагрузок и выходят из строя по причине низкой усталостной прочности.

Зависимость между пластичностью и твёрдостью имеет вид [5]

$$\psi = 0,316 \cdot \ln(1000H_i), \quad (6)$$

где  $H_i$  – твёрдость исследуемого металла.

Следует иметь в виду, что все приведенные зависимости – приближённые и могут быть использованы только для пластичных материалов.

Однако чтобы с большей точностью оценить прочность и пластичность по эмпирическим зависимостям, необходимо иметь как можно более точные значения твёрдости.

### Цель и постановка задачи

Целью настоящего исследования было сравнение показателей прочности, полученных при испытаниях на растяжение и рассчитанных по эмпирическим зависимостям с использованием значений твёрдости, определённых на разных приборах.

### Материал и методика исследований

Исследовали механические свойства отожжённой стали 40X. Твёрдость определяли на образцах диаметром 130 мм, толщиной 20 мм; прочность и пластичность – на стандартных образцах  $d_0=6$  мм,  $l_0=30$  мм. Испытания на растяжение производили на разрывной машине модели UIT STM 50 (максимальная нагрузка – 50 кН) (рис. 1, а). Измерения твёрдости также выполняли на этой же машине, которая была модернизирована для работы в режиме твердомера (гипертвердомера). Для этого был установлен

узел крепления индентора и отработаны параметры нагружения (рис. 1, б).

Индентирование производили с использованием твердосплавных шариков  $\varnothing$  2,5, 5 и 10 мм. При индентировании на приборе Бринелля и на гипертвердомере нагрузка была одинакова. Скорость индентирования – 1,0 мм/мин, время выдержки под нагрузкой – 10 с.

Твёрдость также определяли на стационарном приборе Бринелля модели UIT HBW-1 (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Разрывная машина UIT STM 50 (а) и узел крепления индентора гипертвердомера (б)

Твёрдость по Бринеллю рассчитывали по параметрам восстановленного отпечатка

$$HBW = \frac{F}{S}, \text{МПа.} \quad (7)$$

Диаметр отпечатков определяли с высокой точностью, используя измерительный комплекс, включающий цифровой микроскоп, подключенный к компьютеру, и программу Scope Photo (рис. 3).



Рис. 2. Прибор Бринелля модели UIT HBW-1



Рис. 3. Измерительный комплекс

Исследования выполнялись согласно ДСТУ ISO 6506-1:2007. Каждое измерение повторяли 3 раза.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты измерений твёрдости отожжённой стали 40Х на приборе Бринелля и на гипертвердомере приведены в табл. 1. Из таблицы следует, что с увеличением диаметра индентора твёрдость несколько увеличивается и в случае измерения на гипертвердомере её абсолютные значения выше.

Результаты испытаний на растяжение приведены в табл. 2, из которой следует, что временное сопротивление, определённое по эмпирической зависимости с учётом твёрдости, измеряемой на гипертвердомере, по значению более близкое к значению прочности, полученному при испытаниях на растяжение.

Это объясняется тем, что показатели прочности и твёрдости измерялись на одном приборе с одинаковой ошибкой регистрации полученных результатов. Полученный результат

позволяет более точно оценить прочность металла по твёрдости, поэтому использование гипертвердомера для оценки прочности является обоснованным.

Таблица 1 Результаты измерений твёрдости стали 40X после отжига

Метод и параметры измерений		Результаты измерений параметров		
Твердомер Бринелля	Диаметр индентора, мм	2,5	5	10
	Нагрузка, $F$ , N	1839	7355	29420
	Диаметр отпечатка, $d$ , мм	1,18	2,34	4,64
	Площадь отпечатка, $S$ , мм <sup>2</sup>	1,17	4,58	17,88
	Твёрдость HBW	1571	1605	1645
Гипертвердомер	Нагрузка, $F_1$ , N	1883	7740	29600
	Диаметр отпечатка, $d_1$ , мм	1,17	2,34	4,43
	Площадь отпечатка, $S_1$ , мм <sup>2</sup>	1,15	4,52	16,33
	Твёрдость HBW <sub>1</sub>	1637	1712	1812

Таблица 2 Результаты определения  $\sigma_B$

$F_{max}$ , Н	$d_0$ , мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , МПа
16950	5,75	На разрывной машине $\sigma_B=653$ По эмпирической зависимости (твердомер Бринелля) $\sigma_B=0,34 \cdot HBW=559$ По эмпирической зависимости (гипертвердомер) $\sigma_{B1}=0,35 \cdot HBW_1=634$

Следует отметить, что гипертвердомер позволяет также оценить твёрдость при нагрузках эксплуатации деталей, которые не могут быть реализованы в случае использования прибора Бринелля.

### Выводы

Временное сопротивление, рассчитанное согласно эмпирической зависимости по твёрдости, измеренной на гипертвердомере, более близкое по своему значению к величине, определённой при испытаниях на растяжение.

Использование комплекса «гипертвердомер – разрывная машина» позволяет более точно оценивать прочность по показателям твёрдости, так как они определялись в одних условиях испытания, на одном оборудовании и с одинаковой степенью погрешности.

Гипертвердомер позволяет проводить измерения твёрдости при больших нагрузках, которые не могут быть реализованы на приборе Бринелля.

### Литература

1. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твёрдости /

М.П. Марковец. – М.: Машиностроение, 1979. – 190 с.

2. Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов: монография / В.И. Мощенок. – 2-е изд., доп. и перераб. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 323 с.

3. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування (ISO 6506-1:2005, IDT): ДСТУ ISO 6506-1:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 12 с.

4. Материаловедение: учебник / С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А. Мовлян, А.И. Плешаков. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 462 с.

5. Густов Ю.И. Исследование взаимосвязей пластичности и твердости сталей стандартных категорий прочности / Ю.И. Густов, И.В. Воронина, Х.Л. Аллатуф // Вестник МГСУ. – 2013. – №3. – С. 46–52.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 8 апреля 2016 г.