

**Кузьменко А.Г.,
Вишневский О.А.**
Хмельницкий национальный университет,
г. Хмельницкий, Украина

**МЕТОД ИСПЫТАНИЙ НА АБРАЗИВНЫЙ
ИЗНОС ПО СХЕМЕ БРИНЕЛЛЯ-ХОВАРТА
($Br - Hv$). ЧАСТЬ II. ПРАКТИЧЕСКАЯ
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА**

4. Методики и примеры проведения испытаний определения параметров моделей абразивного изнашивания

4.1. Методика 1: одномерная размерная модель абразивного изнашивания типа (3.5)

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m. \quad (4.1)$$

4.1.1. Порядок проведения испытаний:

1⁰. Выбираются условия и режимы испытаний:

- 1) нагрузка Q , кг на цилиндр (ролик);
- 2) размеры ролика ϕ , мм; R , мм;
- 3) число оборотов ролика; n , об/мин;
- 4) средний размер абразивных частиц δ , мм;
- 5) влажность песка ϵ ;
- 6) средняя температура испытаний T ;
- 7) вязкость песка ν_0 , мм²/с;
- 8) марка материала.

2⁰. Выбирается метод измерения износа плоской поверхности:

- 1) полуширина площади контакта a , мм;
- 2) максимальная глубина лунки u_{ow} , мм;
- 3) вес (масса) удаленной части поверхности G , мг;

3⁰. Выбирается форма представления результатов испытаний:

- 1) таблицы;
- 2) графики;

4.1.2. Порядок обработки результатов испытаний

1⁰. Определение параметров c , β аппроксимирующей функции вида (3.8):

$$a(s) = cs^\beta; \quad (4.1.2)$$

1) параметры c , β при наличии экспериментальных данных могут быть определены численным методом наименьших квадратов (МНК);

2) приближенно параметры c , β могут быть определены по двух экспериментальным точкам

$$(a_1, s_1), (a_2, s_2), \quad (4.1.3)$$

3) по координатам этих точек параметры c , β определяются по формулам:

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg s_1 / s_2}; \quad (4.1.4)$$

$$c = \frac{a_1}{s_1^\beta}; \quad (4.1.5)$$

2⁰. Определение параметров модели m и k_w производится по формулам (3.14), (3.15)

$$m = \frac{1 - 2\beta}{\beta}, \quad (4.1.5, a)$$

$$k_w = \frac{c^{m+2}\beta}{R(Q/2\theta)^m}. \quad (4.1.6)$$

3⁰. Определение пути трения s для точки плоской поверхности

$$1) \quad s = 2\pi Rnt, \quad (4.1.7)$$

где R – радиус ролика в мм;

n , об/мин – число оборотов ролика в минуту;

2) t продолжительность работы в минутах, определение скорости $v = s/t = 2\pi Rn$.

4⁰. Переход от массового G (весового) износа к размерному, приближенно:

$$u_{w0} = \frac{G}{a \cdot \theta \cdot \rho}, \quad (\text{кг} \cdot \text{мм}^3)/(\text{мм}^3/\text{кг}); \quad (4.1.8)$$

1) схема вычисления размера a объема изношенной части тела;

2) связь линейного износа u_{w0} с параметром, a – ширина лунки

$$u_{w0} = \frac{a^2}{2R}; \quad (4.1.9)$$

3) приближенно объем сегмента $V = F\theta = a\theta u_{w0}$

$$F = 1/2 \cdot [Rl - 2a(R - u_0)]; \quad (4.1.10)$$

4) вес сегмента G

$$G = V\rho = a\theta u_{w0}\rho, \quad (4.1.11)$$

5) из (4.1.11) и (4.1.9) следует

$$a = \left(\frac{2RG}{\theta\rho} \right)^{1/3},$$

6) приближенно объем сегмента V определяем по зависимости

$$V = F\theta, \quad F = \frac{1}{2} 2a u_0 = a u_{w0}, \quad (a)$$

или

$$V = a\theta u_{w0}; \quad (b)$$

7) вес G изношенного объема:

$$G = V\rho = a\theta u_{w0}\rho, \quad (c)$$

Отсюда выражение линейного износа через вес

$$u_{w0} = \frac{G}{a \cdot \theta \cdot \rho}; \quad (4.1.12)$$

8) приравнявая (4.1.9) и (4.1.12), получаем:

$$\frac{a^2}{2R} = \frac{G}{a \cdot \theta \cdot \rho}; \quad (4.1.13)$$

9) отсюда окончательно имеем выражение для полуширины площадки контакта a через вес G изношенного объема и другие величины:

$$a = \left(\frac{2RG}{\theta \cdot \rho} \right)^{1/3}. \quad (4.1.14)$$

4.1.3. Пример 1. По методике 4.1 выполнены испытания на абразивный износ стали 30 и определены параметры модели изнашивания

1°. Условия и режимы испытаний:

1) нагрузка на ролик $Q = 4,41$ кг;

2) радиус ролика $R = 24$ мм;

3) ширина ролика $b = 15$ мм;

4) число оборотов ролика $n = 60$ об/мин;

5) средний размер абразивных частиц кварцевого песка $\delta = 1$ мм;

6) скорость скольжения $v = 0,158$ м/с;

7) влажность песка $\varepsilon = 1$, сухой песок;

8) вязкость песка $v_0 = \dots$ мм²/с;

9) твердость испытываемого материала сталь 30 $HB = 174$ кг/мм²; сталь 30ХГСА; $HB = 221$ кг/мм².

Таблица 4.1

Результаты испытаний при измерении линейного износа u_{w0}

№	$s \cdot 10^3$ мм	$HB_1 = 174$, кг/мм ²		$HB_2 = 269$, кг/мм ²		$HB_3 = 578$, кг/мм ²
		u_w , мм	a , мм	u_w , мм	a , мм	a , мм
1	30	0,0115	0,743	0,071	0,583	0,4
2	60	0,0177	0,922	0,044	0,074	0,509
3	9	0,023	1,057	0,0152	0,854	0,58
4	120	0,0282	1,163	0,0182	0,935	0,643
5	150	0,035	1,296	0,0215	0,016	0,696
	β	0,375		0,35		0,35
	c	0,015		0,016		0,011
	m	0,67		0,86		0,86
	$k_w (\text{мм}^2 \text{кг})^m$	$0,8 \times 10^{-6}$		10^{-7}		$3,6 \times 10^{-9}$
	$\frac{u_w(HB)}{u_w(HB = 578)}$	250		8		1

4.1.4. Обработка результатов испытаний и определение параметров модели изнашивания

1. Износ стали при твердости $HB_1 = 174$, кг/мм²:

1) выбираем базовые точки по табл. 4.1

$$a_1 = 0,92 \text{ мм}; \quad s_1 = 6 \cdot 10^4 \text{ мм};$$

$$a_2 = 1,3 \text{ мм}; \quad s_2 = 15 \cdot 10^4 \text{ мм};$$

2) параметр β , c по (4.1.4), (4.1.5) аппроксимируются кривой $a = cs^\beta$:

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg s_1 / s_2} = \frac{\lg 0,92 / 1,3}{\lg 6 / 15} = \frac{0,15}{0,4} = 0,375,$$

$$c = \frac{a_1}{s_1^\beta} = \frac{0,92}{(6 \cdot 10^4)^{0,375}} = \frac{0,92}{61,9} = 0,015;$$

3) параметр модели m по (4.1.5):

$$m = \frac{1 - 2\beta}{\beta} = \frac{1 - 2 \cdot 0,375}{0,375} = \frac{0,25}{0,375} = 0,67;$$

4) параметр k_w по (4.1.6):

$$k_w = \frac{c^{m+2}\beta}{k(Q/2\sigma)^m} = \frac{0,015^{2,67} \cdot 0,375}{24(4,41/(2 \cdot 0,15))^{0,67}} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{6,06} = 0,8 \cdot 10^{-6}.$$

2. Аналогичным образом выполнены расчеты

1) для случаев $HB_2 = 269$, кг/мм², $HB_3 = 578$, кг/мм²;

2) результаты расчетов представлены в табл. 4.1 в соответствующих строках

4.1.5. Сравнение износа сталей при разной твердости

1) выполним при $\sigma = 1$ кг/мм² по зависимости:

$$\varepsilon_{12} = \frac{u_{w1}(HB = 174)}{u_{w3}(HB = 578)} = \frac{k_{w1}}{k_{w2}} = \frac{0,8 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 10^{-9}} = 220 \text{ раз},$$

$$\varepsilon_{23} = \frac{u_{w2}(HB = 269)}{u_{w3}(HB = 578)} = \frac{10^{-7}}{3,6 \cdot 10^{-9}} = 28 \text{ раз}.$$

Общие выводы

1. Из анализа исследований, выполненных по методу *Br - Hv* следует:

1.1. Это один из самых распространенных методов испытаний на абразивный износ. Доказательством этому является стандартизация этого метода в большинстве развитых стран мира.

1.2. В то же время следует отметить качественный, а не количественный характер результатов метода, что не позволяет переносить результаты испытаний на условия испытаний отличные от стандартизированных.

1.3. Предложенная систематизация разных конструктивных, геометрических и других признаков метода позволяет реализовать системный подход к его дальнейшему исследованию

1.4. Наиболее совершенным в настоящее время следует признать многоцелевой анализатор абразивного истирания фирмы Plint Tribology.

1.5. На основе анализа формулированы задачи, направленные на устранение основного недостатка исследований: отсутствие моделей и исследуемых процессов и методов определения параметров этих моделей; устранение этого недостатка позволит распространять результаты исследований на натурные условия отличные от модельных.

2. На основе общих положений теории подобия и размерностей построена многофакторная обобщенная модель абразивного изнашивания включающая:

1) перечень определяющих и определяемых параметров;

2) безразмерные комплексы или критерии подобия;

3) выбраны общие формы критериальных уравнений подобия процесса абразивного изнашивания незакрепленным абразивом.

3. Как основа методов определения параметров критериальных уравнений, проведения испытаний на износ и определения параметров моделей:

1) решена прямая контактная задача о взаимодействии резинового ролика и стального образца, разделенных слоем песка;

2) решена обратная контактная задача об указанном взаимодействии; в результате получены расчетные зависимости для определения параметров моделей изнашивания по результатам лабораторных испытаний;

3) обратная задача решена для двух базовых случаев, а) в случае если начальная площадка контакта нулевая; в) в случае, если начальная площадка контакта отлична от нуля.

4. На основе разработанной теоретической основы метода испытаний на абразивный износ по схеме *Br - Hv*:

1) разработана и реализована на примере детальная методика № 1 проведения испытаний с определением параметров размерной модели изнашивания;

2) разработана и реализована на примере методика № 2 проведения испытаний с определением параметров безразмерной обобщенной модели изнашивания.

5. Разработана методика проведения испытаний и обработки результатов с определением параметров k_w , m модели изнашивания.

6. Выполнены испытания на абразивный износ сталей с твердостями $HB_1 = 174 \text{ кг/мм}^2$; $HB_2 = 269 \text{ кг/мм}^2$; $HB_3 = 578 \text{ кг/мм}^2$.

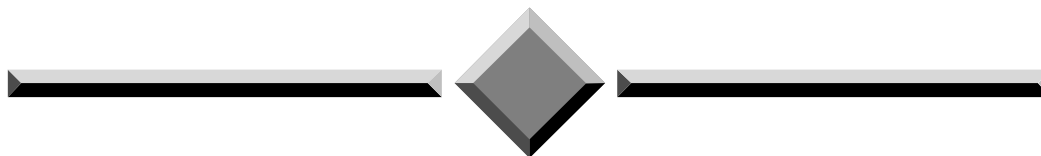
Установлено с помощью предложенной методики, что отношение износа сталей при указанной твердости при $\sigma = \text{кг/мм}^2$, равно $u_{w3} \div u_{w2} \div u_{w1} = 1 \div 28 \div 220$.

7. Основным итогом этой части работы явилось создание теоретической основы метода испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта с использованием безразмерных критериев подобия процесса изнашивания, что позволяет переносить результат испытаний, полученные в модельных условиях на описание натуральных процессов в условиях отличных от модельных.

Литература

1. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 251 с.
2. Куксенова Л.И., Лантева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М. Методы испытаний на трение и износ. – М.: Интермет, 2001. – 152 с.
3. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов / Справочник. М.: Машиностроение, 2008. – 384 с.
4. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. К.: Техника, 1989. – 128 с.
5. ТЕ Многоцелевой анализатор абразивного истирания «песок на колесе». – Internet. Soc-trede.com/equipment.

Надійшла 01.11.2012



ЧИТАЙТЕ
журнал
“**Problems of Tribology**”
во всемирной сети
INTERNET!
<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>