

О.А. Вишневський, О.С. Давидов

Київський національний авіаційний університет, Київ

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ АБРАЗИВНИХ ЧАСТИНОК НА ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ МЕТОДОМ БРИНЕЛЛЯ-ХОВАРТА

Розглянуто моделювання зношування металів при випробуваннях методом Бринелля-Ховарта з метою визначення кількості абразивних частинок у зоні стикання гумового диску та абразиву в кожен момент часу в залежності від розмірів абразивних частинок та гумового диску. Отримані результати дозволяють здійснити зменшення кількості випробувань при збереженні необхідної точності випробувань.

**Ключові слова:** абразив, схема Бринелля-Ховарта, математичне моделювання, випробування на зносостійкість.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Визначення зносостійкості металів незакріпленим абразивом здійснюється з використанням різних методів. Найрозповсюдженішим (сертифікованим) в більшості технологічно розвинутих країн є метод Бринелля-Ховарта. Однак питання оцінки можливості зменшення кількості випробувань при збереженні необхідної точності раніше не розглядалися та є достатньо актуальними з урахуванням розповсюдження цього методу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Випробування за схемою Бринелля-Ховарта. У 1949 році Ховарт (США) розробив метод випробування по зношуванню, що схожий з методом Бринелля і відрізняється вживанням гумового диска замість металевого. Дослідження цього методу, проведені в Інституті машинознавства показали, що спосіб подачі абразиву до поверхні тертя по Ховарту є незадовільним, тому була розроблена нова схема, в якій поєднувалися гумовий диск по Ховарту і подачі абразиву по Бринеллю (рис. 1).

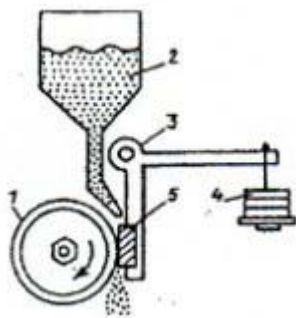


Рис. 1. Схема випробувань на знос по гумі з сухим абразивом: 1 – гумове колесо; 2 – абразив; 3 – важіль; 4 – вантаж; 5 – зразок  
Джерело: розроблено автором.

Знос визначається по втраті ваги зразка при певній кількості абразиву. У таких же умовах випро-

бовується еталонний матеріал; відносна зносостійкість визначається як відношення зносів еталонного і випробовуваного матеріалів.

В роботі розглянуто моделювання процесу зношування на основі теорії подібності і розмірності, але не висвітлено глибинний механізм процесу абразивного зношування.

**Метою статі є** визначення кількості абразивних частинок на поверхні тертя при випробуваннях методом Бринелля-Ховарта для подальшої оцінки можливостей зменшення кількості випробувань при збереженні необхідної точності.

### Виклад основного матеріалу

Визначення кількості абразивних частинок у зоні стикання ролика та зразка в даний момент часу є вирішальним при побудові загальної моделі абразивного зношування. Визначну роль у моделюванні процесу абразивного зносу відіграє залежність величини зносу від лінійного зносу абразивом поверхні матеріалу. В момент часу  $t$  переріз випробувального ролика, абразиву та зразка буде мати вигляд, показаний на рис. 2.

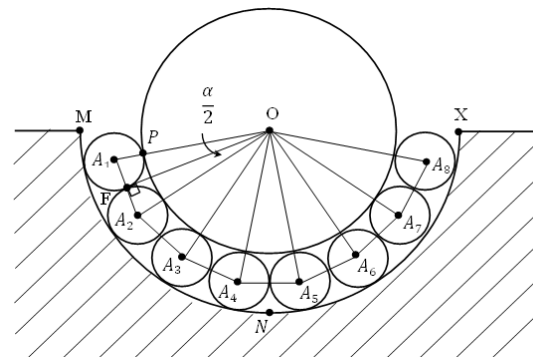


Рис. 2. Поперечний переріз випробувального ролика, абразивних частинок та поверхні досліджуваного зразка, де:  
 $OP=R$ ;  $A_1P=r$ ;  $\angle A_1OA_2 = \alpha$   
Джерело: розроблено автором.

Визначимо кількість абразивних частинок, які приймають участь у процесі зносу поверхні зразка в момент, коли лінійний знос дорівнює  $h$ . З рівнобедреного  $\triangle OA_1A_2$ , в якому  $OF$  є медіаною, висотою та бісектрисою, маємо

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{r}{R+r}. \quad (1)$$

З формули (1) отримаємо

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{r}{R+r}. \quad (2)$$

Визначимо залежність довжини дуги від величини лінійного зносу  $h$ .

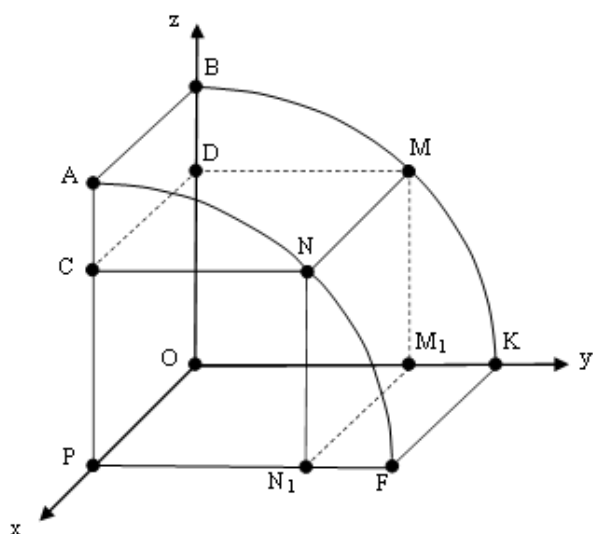


Рис. 3. Схематичне креслення частини циліндра в прямокутній системі координат  
Джерело: розроблено автором.

Максимальна глибина  $h$  лунки на поверхні зразка, який зношується, відповідає довжині відрізка  $DB$ . Якщо прийняти  $OD=z_1$ , то з того, що  $OB=R(R-r)$  (радіус ролика), випливає, що  $DB=R-z_1$ . Ширина ролика  $OP=b$ , тому координати точки  $P(b;0;0)$ . Половина об'єму лунки, яка зношується, відповідає частині ролика  $ABMNCD$ , а половина площі поверхні лунки – частині циліндричної поверхні  $ABMN$ . Проекцію поверхні  $ABMN$  на площину  $XOY$  буде область  $D$  – прямокутник  $POM_1N_1$ . Рівняння циліндричної поверхні ролика ( $ABMN$ ) має вигляд

$$z^2 + y^2 = R^2. \quad (3)$$

З формули (3) одержимо вираз змінної  $z$  через змінну  $y$  і константу  $R$ .

$$z = \sqrt{R^2 - y^2}. \quad (4)$$

Використовуючи знайдемо площу  $Q$  подвоєної циліндричної поверхні  $ABMN$

$$Q = \iint_D \sqrt{1 + p^2 + q^2} dx dy, \quad (5)$$

де  $p = \frac{\partial z}{\partial x}$ ;  $q = \frac{\partial z}{\partial y}$ ; область  $D$  – проекція поверхні

стикання ролика і зразка на площину  $XOY$ ,  $z=f(x,y)$  – рівняння даної поверхні.

Формула (5) еквівалентна формулі

$$Q = \iint_D \sqrt{1 + z'_x(x,y) + z'_y(x,y)} dx dy, \quad (6)$$

де  $z(x,y) = \sqrt{R^2 - y^2}$

область

$$D : 0 \leq x \leq b, -\sqrt{R^2 - z_1^2} \leq y \leq \sqrt{R^2 - z_1^2}.$$

Частинні похідні по  $x$  і по  $y$  рівні:

$$z'_y(x,y) = \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2}}, \quad (7)$$

де  $z'_x(x,y) = 0$ .

Враховуючи те, що проекцією половини контактної поверхні на площину  $XOY$  буде область

$$D_1 : 0 \leq x \leq b, 0 \leq y \leq \sqrt{R^2 - z_1^2}.$$

Формулу (6) можна переписати у вигляді:

$$Q = 2 \iint_{D_1} \sqrt{1 + \frac{y^2}{R^2 - y^2}} dx dy \quad (8)$$

Після алгебраїчних перетворень (8) довжину дуги  $MNX$  ( $l_1$ ) визначимо за формулою:

$$l_1 = 2(R+2r) \arcsin \sqrt{2 \frac{h}{R+2r} - \left(\frac{h}{R+2r}\right)^2}. \quad (9)$$

Кількість абразивних частинок в дузі дорівнює

$$q = \left[ \frac{\alpha_1}{\alpha} \right] + 1. \quad (10)$$

Кількість рядів абразивних частинок дорівнює

$$m = \left[ \frac{b}{2r} \right]. \quad (11)$$

Загальна кількість частинок в зоні стикання поверхонь ролика, абразиву та зразка при лінійному зносі  $h$  дорівнює

$$n = qm = \left( \left[ \frac{\arcsin \sqrt{2 \frac{h}{R+2r} - \left(\frac{h}{R+2r}\right)^2}}{\arcsin \frac{r}{R+r}} \right] + 1 \right) \times \left[ \frac{b}{2r} \right]. \quad (12)$$

При  $h = R + 2r$

$$n = \left( \left[ \frac{\arcsin \sqrt{2 \frac{R+2r}{R+2r} - \left( \frac{R+2r}{R+2r} \right)^2}}{\arcsin \frac{r}{R+r}} \right] + 1 \right) \times \left[ \frac{b}{2r} \right] \quad (13)$$

$$N = 2 \left( \left[ \frac{\pi}{2 \arcsin \frac{r}{R+r}} \right] + 1 \right) \left[ \frac{b}{2r} \right]. \quad (14)$$

## Висновки

Проведене моделювання визначення кількості абразивних частинок на поверхні зносу дає можливість прогнозувати величину лінійного, масового та об'ємного зносу. Отримана можливість побудови моделі абразивного зношування при випробуванні методом Бринелля-Ховарта.

А взагалі під час оберту випробувального ролика в процесі зносу приймає участь  $N$  частинок.

## Список літератури

1. Gee M. Measurement in Tribology / M. Gee. – London: IMechE, 2014. – 257 p.
2. Jost P. Brief Notes / P. Jost. – London: IMechE, 2016. – 35 p.
3. Spikes H. Liquid Lubrication Research: 1966 to the Present Day / H. Spikes. – London: IMechE, 2016. – 287 p.
4. Cann P. Biotribology: Opportunities and Challenges / P. Cann. – London: IMechE, 2016. – 257 p.
5. Свириденко А.И. Актуальные направления развития трибологии / А.И. Свириденко, Н.К. Мышкин, И.Н. Ковалева // Трение и износ. – 2015. – № 6(36). – С. 591-594.
6. Вишневецький О.А. Визначення зносостійкості металів незакріпленим абразивом / О.А. Вишневецький, О.С. Давидов // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 2(58). – С. 80-85. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.10>.
7. Жесткость упругопластического контакта деталей машин: монография / М.М. Матлин, А.И. Мозгунова, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин. – М.: Машиностроение, 2015. – 423 p.
8. Крупиц Б. Naciski na scianki formy zamknietej podczas zageszczania mieszkanki wapienno-piaskowej / Б. Крупиц, В. Тарасюк // Трибология. – 2011. – № 6. – С. 125-131.
9. Демкин Н.Б. Некоторые результаты моделирования контакта шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин, В.В. Измайлов // Межвузовский сборник научных трудов. – 2009. – № 2. – С. 29-35.
10. Jane Q. Encyclopedian of Tribology / Q. Jane, W. Chung. – New York: Springer, 2013. – 385 p.
11. Кузьменко А.Г. Теоретические основы и экспериментальная реализация метода испытаний на абразивный износ с определением параметров моделей изнашивания по схеме Malysheva-Vellingera-Uetsta / А.Г. Кузьменко, О.А. Вишневецький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 3. – С. 7-19.
12. Кузьменко А.Г. Моделирование и прогнозирование изнашивания материалов незакрепленным абразивом / А.Г. Кузьменко, И.П. Белокур, О.А. Вишневецький // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6. – С. 20-25.

Надійшла до редколегії 28.01.2021

Схвалена до друку 02.03.2021

### Відомості про авторів:

**Вишневецький Олег Анатолійович**  
викладач  
промислово-економічного коледжу  
Національного авіаційного університету,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5591-0106>

**Давидов Олександр Сергійович**  
кандидат технічних наук доцент  
Національного авіаційного університету,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-7232-4926>

### Information about the authors:

**Oleg Vishnevsky**  
Assistant Lecturer Instructor  
of the Industrial and Economic College  
of the National Aviation University,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5591-0106>

**Olexander Davydov**  
Candidate of Technical Sciences Senior Lecturer  
of the National Aviation University,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7232-4926>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ МЕТОДОМ БРИНЕЛЛЯ-ХОВАРТА

О.А. Вишнеvский, А.С. Давыдов

*В работе рассмотрен метод испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта с указанием конструктивных элементов установки, которые могут отличаться размерами, геометрией поверхностей и материалами. Отмечен количественный, а не качественный характер результатов метода, что не позволяет переносить результаты испытаний на условия отличные от стандартных. Сформулированы задачи, направленные на устранение основного недостатка исследований: отсутствие моделей исследуемых процессов и методов определения параметров этих моделей. Устранение этих недостатков позволит распространить результаты исследований на натуральные условия отличные от модельных. Построена математическая модель определения количества абразивных частиц в зоне взаимодействия резинового диска и абразива в заданный момент времени в зависимости от размеров абразивных частиц и резинового диска. Важным компонентом данной работы является реальное рассмотрение взаимодействия каждой сферической абразивной частицы с металлическим образцом. Выделены граничные условия применения данных моделей при испытаниях методом Бринелля-Ховарта. Данное моделирование рассмотрено в контексте с последующим развитием данной методики моделирования. В работе рассматриваются реальные процессы, связанные с абразивным изнашиванием материалов при испытаниях. Также в работе рассматривается основа дальнейшего построения математического моделирования процесса абразивного изнашивания металлов при испытании методом Бринелля-Ховарта. Изучается не среднестатистический износ металлов, а износ каждой сферической абразивной частицы с дальнейшим суммированием величин износа по массе.*

**Ключевые слова:** абразив, схема Бринелля-Ховарта, математическое моделирование, испытания на износостойкость.

## DETERMINATION OF THE AMOUNT OF ABRASIVE PARTICLES ON THE FRICTION SURFACE IN THE TEST BY THE BRINELL-HOWARTH METHOD

O. Vishnevsky, O. Davydov

*The paper considers the method of testing for abrasive wear according to the Brinell-Howarth scheme with an indication of the structural elements of the installation, which may differ in size, surface geometry and materials. The quantitative rather than qualitative nature of the results of the method is noted, which does not allow the test results to be transferred to conditions other than standard. The tasks are formulated aimed at eliminating the main drawback of research: the lack of models of the studied processes and methods for determining the parameters of these models. Elimination of these disadvantages will allow to extend the research results to natural conditions different from the model ones. In this regard, the task of developing a theory of modeling abrasive wear of metals during tests by the Brinell-Howarth method was established. A mathematical model has been built for determining the amount of abrasive particles in the zone of interaction of a rubber disk and an abrasive at a given time, depending on the size of abrasive particles and a rubber disk. An important component of this work is the real consideration of the interaction of each spherical abrasive particle with a metal sample. Boundary conditions for the application of these models during testing by the Brinell-Howarth method are identified. This modeling is considered in the context with the subsequent development of this modeling technique. The work considers real processes associated with abrasive wear of materials during testing. The paper also considers the basis for the further construction of mathematical modeling of the process of abrasive wear of metals when tested by the Brinell-Howarth method. It is not the average statistical wear of metals that is studied, but the wear of each spherical abrasive particle with further summation of the wear values by weight.*

**Keywords:** abrasive, Brinell-Howarth scheme, mathematical modeling, tests for wear resistance.