

ЭНЕРГИЯ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

¹Винницкий национальный технический университет

ВСТУПЛЕНИЕ

В процессе эксплуатации деталей машин элементы конструкций воспринимают знакопеременные динамические нагрузки, что вызывает интенсивный износ контактных трущихся поверхностей.

Качество поверхностного слоя можно оценить путем идентификации механических свойств в локальных точках поверхностного слоя [1]. При этом возникает проблема количественной оценки меры работоспособности узлов деталей машин. В работе предлагается критерий оценки параметров износа, при достижении которых элементы конструкции должны быть заменены.

Целью данной работы является разработка энергетического критерия износа трущихся поверхностей деталей машин, позволяющего количественно оценить энергию, затраченную на износ в любой момент эксплуатации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ экспериментальных исследований.

Следуя работам [1], [2], сформируем «карту» материала, включающую кривую течения в координатах: ζ_u – интенсивность напряжений; ε_u – интенсивность деформаций:

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}, \quad (2)$$

где $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – главные напряжения; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – главные деформации.

Кривая $\sigma_u = f(\varepsilon_u)$ не зависит от схемы напряженного состояния (гипотеза о единой кривой в теории пластичности) и определяется лишь свойствами материала. Аппроксимацию кривой принимаем в виде

$$\sigma_u = A \varepsilon_u^n, \quad (3)$$

где $A = \sigma_u$ при $\varepsilon_u = 1$, n – интенсивность деформаций для изотропного материала при максимальной нагрузке на условной диаграмме растяжения.

Для стали 40ХФА, например, $A = 769$ МПа, $n = 0,19$.

Интегрируя (3), получим

$$W_{уд} = \int_0^{\varepsilon_u^*} \sigma_u d\varepsilon_u = A \int_0^{\varepsilon_u^*} \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = A \frac{\varepsilon_u^{n+1}}{n+1}, \quad (4)$$

где $W_{уд}$ – удельная потенциальная энергия, затраченная в процессе деформации.

Путем измерения твердости по Либу переносным твердомером ТЕМП-3, построен градуировочный график $K_H = \frac{H_d}{H_0}$ – интенсивность деформаций (H_d – твердость после деформации, H_0 – исходная твердость). Как показано в работе [3] указанная зависимость не зависит от схемы напряженного состояния. Градуировочный график строим в условиях линейного напряженного состояния.

Для стали 40ХФА:

$$\varepsilon_u = \exp \frac{\ln \frac{K_H}{B}}{F}, \quad (5)$$

где B и F – коэффициенты. Для стали 40ХФА: $B = 1,9$; $F = 0,17$.

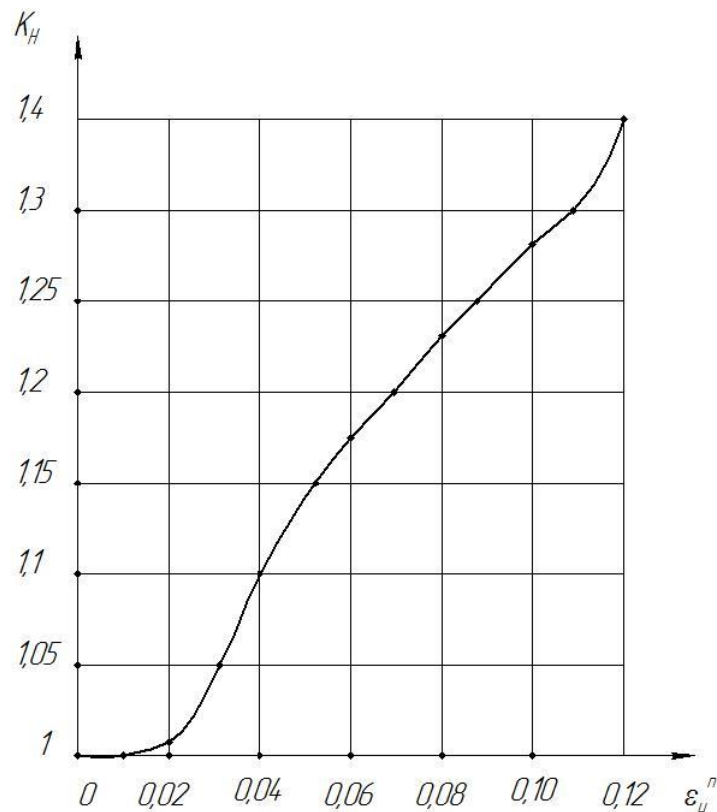


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента приращения твердости от интенсивности деформации стали 40ХФА

На рисунке 1 показана зависимость коэффициента K_H от интенсивности деформаций.

По формуле (4) определим величину $W_{уд}$, а затем коэффициент $K_w = \frac{W_{уд}}{W_0}$, где $W_0 = \frac{\sigma_{0,2}^2}{2E}$ – удельная упругая энергия деформирования. В нашем случае для стали 40ХФА $\sigma_{0,2} = 329$ МПа. Следуя работе [4] величину $\zeta_{0,2}$ можно определить по исходной твердости H_0 :

$$\sigma_{0,2} = 176 + 0,33H_0, \quad (6)$$

Коэффициент в формуле (3)

$$A = 1000 \cdot \exp(-0,0008\sigma_{0,2}), \quad (7)$$

а коэффициент

$$n = 0,35 \cdot \exp(-0,0008A). \quad (8)$$

На рисунке 2 показана зависимость коэффициента K_H от коэффициента K_w .

$$W_{уд} = A \frac{\epsilon_u^{n+1}}{n+1} = 260 \frac{0,12^{1,28}}{1,28} = 13,42 \text{ МПа}.$$

Умножаем полученное значение $W_{уд}$ на объем, охваченный деформацией $V = 0,967 \text{ см}^3$, рассчитываем энергию деформации:

$$W_{def} = W_{уд} \cdot V = 12,98 \text{ Дж}.$$

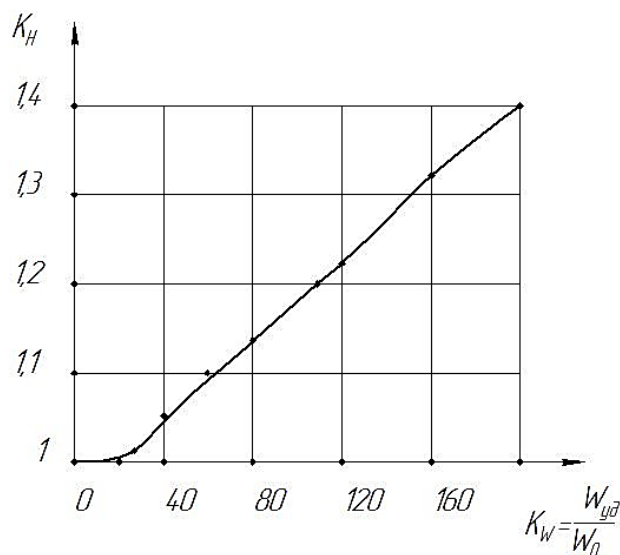


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента приращения твердости от коэффициента приращения удельной потенциальной энергии стали 40ХФА

ВЫВОДЫ

Разработан энергетический критерий износа поверхностей трения деталей машин путем измерения твердости по Либу переносным твердомером ТЕМП-3. Оценивается коэффициент приращения твердости в связи с упрочнением. Коэффициент приращения твердости ставится в соответствии с коэффициентом отношения удельных потенциальных энергий затраченных на износ трущихся поверхностей. Получены формулы, позволяющие оценить потенциальную энергию, затраченную на износ в течение времени эксплуатации, что позволяет определить использованный ресурс эксплуатации изделий машиностроения.

Метод позволяет на стадии эксплуатации, измерением твердости с помощью предложенных в работе соотношений, оценивать возможность дальнейшей эксплуатации деталей изделий машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Огородников В. А. Энергетический критерий износа узлов трущихся поверхностей деталей машин / В. А. Огородников, Л. К. Полищук, А. В. Губанов // Механіка машин – основа складова прикладної механіки : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Дніпро, 10–13 квітня 2017 року. – Дніпро : НМетАУ, 2017. – С. 263–264.
2. Никитин Ю. А. Новые направления в оценке качества поверхности материалов / Ю. А. Никитин, В. В. Запорожец // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин : зб. наук. праць (серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти») НАН України. – Київ, 2003. – 332 с.
3. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (Задачи автотехнической экспертизы) : монография / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : Универсум-Винница, 2005. – 204 с.
4. Огородников В. А. Некоторые аспекты применения теории пластичности к задачам технологической механики и автотехническим экспертизам / В. А. Огородников // Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском і в автотехнічних експертизах : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – С. 4–6.

REFERENCES

1. Ogorodnikov V. A. Energeticheskiy kriteriy iznosa uzlov truschihsyta poverhnostey detaley mashin / V. A. Ogorodnikov, L. K. Polischuk, A. V. Gubanov // Mehanika mashin – osnova skladova prikladnoyi mehaniki : materlali vseukrayinskoYi naukovo-tehlnchnoYi konferentsiyi, m. Dnipro, 10–13 kvitnya 2017 roku. – Dnipro : NMetAU, 2017 – S. 263–264.
2. Nikitin U. A. Novye napravleniya v ocenke kachestva poverhnosti materialov / U. A. Nikitin, V. V. Zaporozhec // Suchasni procesi mehanichnoYi obrobki instrumentami z NTM ta yakist' poverhni detalej

mashin: Zb. Nauk. Prac' (serija G «Procesi mehanichnoї obrobki, verstati ta instrumenti») NAN Ukraїni im. Bakulja. – Kiiv, 2003. – 332 s.

3. Ogorodnikov V. A. Jenergija. Deformacii. Razrushenie (Zadachi avtotehnicheskoi jekspertizi) : Monografija / V. A. Ogorodnikov, V. B. Kiselev, I. O. Sivak. – Vinnica : Universum-Vinnica, 2005. – 204 s.

4. Ogorodnikov V. A. Nekotorye aspekty primenenija teorii plastichnosti k zadacham tehnologicheskoi mehaniki I avtotehnicheskimi jekspertizami / V. A. Ogorodnikov // Zastosuvannja teorii plastichnosti v suchasni tehnologijah obrobki tiskom i avtotehnichnih ekspertizah: materiali mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii, (VNTU, Vinnicja, Ukraїna, 29 travnja – 1 chervnja 2006). – Vinnicja, 2006. – S. 4-6.

В. А. Огородніков¹, А. В. Губанов¹, Л. К. Поліщук¹

ЕНЕРГІЯ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

¹Вінницький національний технічний університет

Розроблений енергетичний критерій зношеності поверхонь тертя деталей машин шляхом вимірювання твердості за Лібом переносним твердоміром ТЕМП-3. Оцінюється коефіцієнт прирощення твердості в зв'язку зі зміцненням. Коефіцієнт прирощення твердості ставиться у відповідності з коефіцієнтом відношення питомих потенціальних енергій витрачених на зношування поверхонь тертя. Отримано формули, які дозволяють оцінити потенціальну енергію, що витрачається на зношування під час експлуатації, що дозволяє визначити використаний ресурс виробів машинобудування.

Ключові слова: енергетичний критерій, питома потенціальна енергія, твердість за Лібом, коефіцієнт твердості.

Огородніков Віталій Антонович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: va.ogorodnikow@gmail.com

Губанов Андрій Васильович, завідувач лабораторіями кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: gubanovav@ukr.net

Поліщук Леонід Клавдійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua

V. Ogorodnikov¹, A. Gubanov¹, L. Polichuk¹

WEAR ENERGY OF FRICTION SURFACES OF MACHINES PARTS

¹Vinnitsya National Technical University

The energy criterion for the wear of friction surfaces of machine parts is developed by measuring the hardness along the Lieb by the portable hardness tester TEMP-3. The coefficient of hardness increment is estimated in connection with hardening. The coefficient of hardness increment is set in accordance with the ratio of the specific potential energies expended on the wear of rubbing surfaces. Formulas are obtained that allow estimating the potential energy expended for wear during the operating time, which allows us to determine the used service life of engineering products.

Key words: energy criterion, specific potential energy, Liubo hardness, hardness coefficient.

Ogorodnikov Vitaliy, Doctor Of Technical Science, Professor, Head of the Department of Resistance of Materials and Applied Mechanics, Vinnitsa National Technical University, e-mail: va.ogorodnikow@gmail.com

Gubanov Andrei, Head of Laboratories of the Department of Resistance of Materials and Applied Mechanics, Vinnitsa National Technical University, e-mail: gubanovav@ukr.net

Polichuk Leonid, Doctor Of Technical Science, Professor, Head of the Department of Sectoral Mechanical Engineering, Vinnitsa National Technical University, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua

В. А. Огородников¹, А. В. Губанов¹, Л. К. Полищук¹

ЭНЕРГИЯ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

¹Винницкий национальный технический университет

Разработан энергетический критерий износа трущихся поверхностей деталей машин путем измерения твердости по Либу переносным твердомером ТЕМП-3. Оценивается коэффициент приращения твердости в связи с упрочнением. Коэффициент приращения твердости ставится в соответствии с коэффициентом отношения удельных потенциальных энергий затраченных на износ трущихся поверхностей. Получены формулы, позволяющие оценить потенциальную энергию, затраченную на износ в течении времени эксплуатации, что позволяет определить использованный ресурс эксплуатации изделий машиностроения.

Ключевые слова: энергетический критерий, удельная потенциальная энергия, твердость по Либу, коэффициент твердости.

Огородников Виталий Антонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и прикладной механики, Винницкий национальный технический университет, e-mail: va.ogorodnikow@gmail.com

Губанов Андрей Васильевич, заведующий лабораториями кафедры сопротивления материалов и прикладной механики, Винницкий национальный технический университет, e-mail: gubanovav@ukr.net

Полищук Леонид Клавдиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой отраслевого машиностроения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua