

**В. Юдовинський**

Доцент, канд. техн. наук

**С. Кюрчев**

Доцент, канд. техн. наук

**О. Пеньов**

Доцент, канд. техн. наук

Таврійський державний  
агротехнологічний університет,  
м. Мелітополь

УДК 620.178.16.004

## РУЙНУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МЕТАЛУ ПРИ ТЕРТІ

*Розглянуті питання руйнування мікронерівностей поверхні при мікроударах виступів шорсткості під дією розповсюдження пружних хвиль у металі при терті контактуючих поверхонь.*

**метал, поверхневий шар, тертя, руйнування**

**Вступ.** Поверхні деталей, як би чисто не були вони оброблені, мають шорсткість, виражену в чергуванні западин і виступів. Крім того, у процесі експлуатації деталей або навіть при їх виготовленні, відбувається переміщення дислокацій на поверхні деталей, що також змінює площинну мікрорельєфу поверхні тертя. При відносному переміщенні деталей (поверхонь тертя у процесі зношування) відбуваються мікроудари виступів нерівностей, що призводить до руйнування поверхневих шарів деталей. Ця стаття присвячена встановленню аналітичних залежностей напружень, що викликаються мікроударами, і критичної швидкості мікроудару.

Питання хвильової структури пружних ударів абразивного зерна по мікронерівностях поверхонь металів у процесі зношування розглядалися багатьма вченими. Так, Керман і Тейлор пов'язали деформації з критичною швидкістю удару [1]. Стронг ввів поняття “хвильова структура деформації” [2], а Крагельським І. В. і Хрущовим М. М. розроблена кількісна оцінка напруження при руйнуванні поверхні при зношуванні [3, 4].

Метою статті є встановлення аналітичних залежностей впливу густини металів і швидкості відносного переміщення контактуючих поверхонь на напруження, а також встановлення критичної швидкості удару, поверхні, що призводить до руйнування, у процесі зношування.

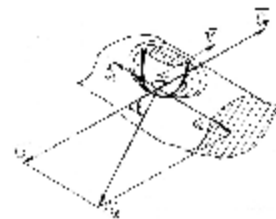
**Аналітична частина.** Дію пружної ударної хвилі фактично можна розглядати як розповсюдження двох незалежних хвиль. В одній з них зсув частинок матеріалів

направлений вздовж розповсюдження самої хвилі. Така хвиля називається подовжньою і розповсюджується зі швидкістю  $C_e$ . Ця хвиля пов'язана зі зміною об'єму, яка відбувається при взаємодії металу з ударними хвилями. При цьому нормальне напруження вздовж ударної хвилі

$$\delta = \rho C_e U, \quad (1)$$

де  $C$  – густина матеріалу;  $U$  – швидкість переміщення частинок матеріалу під дією ударної хвилі.

Друга хвиля – поперечна. Зсув тут лежить у площині, перпендикулярно до напрямку розповсюдження цієї хвилі, і швидкість її розповсюдження  $C_t$  приблизно у два - три рази менша, ніж  $C_e$ . Проходження поперечних хвиль призводить до утворення тангенціальних напружень  $\tau$ , що викликають відносне переміщення окремих об'ємів металу (рис. 1).



**Рис. 1.** Швидкості розповсюдження хвиль  $C_e, C_t$  та утворені напруги  $\tau, \sigma$  при ударі абразивного зерна у виступ поверхні металу

$$\tau = \rho C_t U \tau \quad (2)$$

Удар по металу (по нерівності поверхні) може утворювати не тільки нерівність поверхні контакту, але й абразивне зерно, що знаходиться між поверхнями тертя.

У табл. 1 наведені значення напруження, що виникає у різних металах при швидкості переміщення абразивного зерна (удару) 1 м/с.

Таким чином, на частинку металу нерівності поверхні діють дві сили, для напружень  $\delta$  і  $\tau$ , кут між векторами напружень складає  $\alpha = 90^\circ$ .

Отже, напруження сколу або, точніше, руйнування поверхні відбувається у результаті сумарного напруження, яке зміщується від  $\delta$  на кут  $\beta$ , тангенс якого

$$\operatorname{tg} \beta = 1/3 - 1/2. \quad (3)$$

Сумарне напруження можна записати так:

$$\sigma_\tau = \frac{\sigma}{\cos \beta} = \frac{\rho C_e U}{\cos \beta}; \quad \sigma_\tau = \frac{\delta}{\sin \beta} = \frac{\rho C_t U}{\sin \beta}. \quad (4)$$

Звідси впливає рівність правих частин:

$$\frac{\rho C_e U}{\cos \beta} = \frac{\rho C_t U}{\sin \beta}, \quad (5)$$

з яких видно зв'язок швидкостей розповсюдження хвилі в метали

$$C_t = C_e \operatorname{tg} \beta. \quad (6)$$

Таблиця 1

Значення напруження для різних металів при зовнішній деформації

Матеріал	Нормальна напруга $\sigma$ , МПа	Тангенціальні напруга $\tau$ , МПа
Алюміній (Al)	17,1	9,3
Латунь	34,4	17,2
Мідь (Cu)	40,4	20,0
Свинець (Pb)	24,4	8,8
Сталь	45,1	24,2

Оскільки  $\operatorname{tg} \beta = 1/3 - 1/2$ , то

$$C_t = \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{2} \right) C_e. \quad (7)$$

За Керманом і Тейлором повинна існувати критична швидкість удару  $U_{кр}$ , досягнувши якої поверхня контакту, що сприймає удар, руйнується. Така швидкість удару є функцією ступеня і швидкості деформації та виражається залежністю

$$U_{кр} = \int_0^{\epsilon_m} \sqrt{\frac{d\sigma/d\epsilon}{r}} d\epsilon, \quad (8)$$

де  $\epsilon$  – ступінь поточної деформації;  $\epsilon_m$  – ступінь деформації, відповідний межі текучості;  $d\sigma/d\epsilon$  – нахил кривої  $\delta$ - $\epsilon$  при статичному розтягу.

**Висновки.** Руйнування нерівностей поверхні при зношуванні відбуваються за рахунок удару виступу нерівності, або абразивного зерна, що викликає критичне напруження, яке виникає при критичній швидкості розповсюдження хвилі деформації.

## Література

1. Tabor D. The Hard ness of metals. – Oxford, 1956.
2. Strong C.D. On empirical low of adhesive wear / I.Appl. Phys. –1952. – №1. – vol. 23.
3. Крагельский И.В. Основные положения молекулярно-механической теории трения и изнашивания // Сб. «Развитие теории трения и изнашивания». – Изд. АН СССР. – 1957.
4. Хруцов М.М. Классификация условий и видов изнашивания деталей машин // Сб. «Трение и износ в машинах». –VIII. – Изд. АН СССР. –1953.

Отримана 10.07.12

V. Yudovynskyy, S. Kurtchev, O. Penov

Traction of surface layers of metal at friction

Tavrian State Agrarian University, Melitopol

In activity the problems of destruction of asperities of a surface are esteemed at micro impacts of ledges of a roughness under operating of distribution of elastic waves in metal at friction of conjugated surfaces.

## Інформація для авторів

Журнал “Машинознавство” визнаний ВАК України науковим фаховим виданням, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук, а також фізико-математичних наук за спеціальністю “Механіка деформованого твердого тіла”.

Додатки до постанов президентів ВАК України  
№ 01-05/4 від 22 квітня 2011 р. та № 1-05/5 від 31 травня 2011 р.