

В.Я. Лобурак¹, І.Й. Перкатюк²

Вплив структури поверхні тертя на зносостійкість матеріалу

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

²Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57,
Івано-Франківськ, 76000, Україна, e-mail: yloburak2@mail.ru

Проведено дослідження процесу зношування при сухому терті, виходячи з уявлень перетворення енергії пластичної деформації в зоні контакту в енергію дислокації в приповерхневій зоні тертя.

Ключові слова: зношування, дисипативна енергія, дислокації, крихкість.

Стаття постуила до редакції 15.01.2012; прийнята до друку 15.06.2012.

Вступ

Дослідження зносостійкості матеріалу при сухому терті в залежності від природи матеріалу, а відповідно його структури та сил взаємодії на молекулярному чи атомному проводились багатьма вченими, виходячи з різних позицій та уявлень про механізм зношування, що визначало подальші напрямки наукового пошуку інтерпретації механізму тертя.

Так, Г.А. Томлінсон з працівниками випробували деякі пари тертя із загартованої сталі, хрому, низьковуглецевої сталі, латуні, нержавіючої сталі, нікелю та інших матеріалів [1]. Дослідниками відмічено, що в парі з латунню будь-якого матеріалу руйнування поверхні тертя є найменшим. Зношення нержавіючої сталі є найвищою з усіх пар тертя. В свою чергу Діес [2] вказав на відсутність певного зв'язку між твердістю матеріалу і його зносостійкістю. Наприклад, при терті як м'якої так і твердої азотованої сталі в парі із загартованою хромистою сталлю спостерігається одинакове зношування хромистої сталі. В той же час м'яка аустенітна сталь сильно руйнує загартовану хромисту сталь. Так само м'який алюміній руйнує загартовану сталь значно сильніше ніж азотовану сталь. В цьому випадку цей ефект можна пояснити тим, що в зоні тертя утворюється твердий оксид алюмінію A_2O_3 , що і руйнує поверхню загартованої сталі.

Заслуговує на увагу дослідження зносостійкості в тому випадку, коли матеріал за хімічним складом один і той же, але термічно оброблений на різну твердість [3]. Так, зносостійкість сталі 45 після гартування і відпускання на різну твердість є найвищою при низькому відпуску. Як відомо, всі структури загартованої сталі після відпуску є зернистими з різними розмірами зерна. Отже, тут

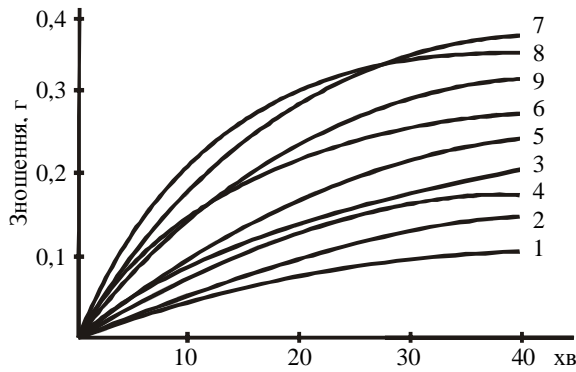
можна говорити про залежність зносостійкості від розміру зерен структури матеріалу.

Звичайно, зносостійкість матеріалу залежить від багатьох факторів, які впливають на взаємодію поверхонь тертя, але, на наш погляд, вельми суттєвими є структура поверхневих шарів тертя, яка характеризується енергією взаємодії між фазами, силами їх зчеплення, а відповідно протидією виниканню дислокаційних дефектів, що веде до викришування твердих фаз. Це пояснюється тим, що дислокації концентруються на границях зерен, підвищуючи крихкість матеріалу.

Постановка задачі та обговорення результатів дослідження

Виходячи з понять трактування механізму зношування при сухому терті, доцільним є дослідження впливу на зношування величини розмірів структурного зерна матеріалу поверхні тертя. Для дослідження були вибрані сталі У8 і 40Х та покриття електролітичного осаду композиту Ni – TiC. Сталі піддавались гартуванню з наступним відпусканням на різну зернистість, а зернистість електролітичного осаду забезпечувалась ступеню помолу карбиду титана.

Сталь У8 та 40 Х піддавались гартуванню у воду від температури 760 і 850 °С відповідно з наступним відпуском при температурі 150; 400 і 600 °С. Отже, були забезпечені структури мартенситу відпуску, сорбіту та перліту, які забезпечували різну зернистість цих сталей, а зернистість електролітичних осадів, як було відмічено вище, забезпечувалась зернистістю карбиду титана. Випробовування на зношування усіх зразків проводилось на машині СМЦ – 2 при різних навантаженнях та часі випробувань.



На рис. 1 приведена залежність зносостійкості від часу при навантаженні 15 Н/мм². В усіх випадках характерним являється параболічна залежність зношування, що добре пояснюється протіканням періоду припрацювання з наступною рівноваженістю взаємодії поверхонь тертя. Така закономірність мала би підтвердити той факт, що чим вища твердість матеріалу, тим менше його зношування, але від цього твердження маємо відхилення на зразках сталі У8, бо найбільше зношення показали зразки загартовані на найвищу твердість, яку забезпечує мартенситна структура.

Багаторазове підтвердження цього результату, дає підставу стверджувати, що в цьому випадку підвищене зношування при терті зобов'язане підвищеної крихкості загартованої сталі, яка забезпечується локалізацією дислокацій по границях зерен, а це приводить до викришування твердих частинок, а у даному випадку – карбідів заліза, що сприяє виникненню абразивного зношування.

Незначна різниця в зношуванні зразків з електролітичним покриттям Ni – TiC з вмістом різних розмірів частинок TiC пояснюється досить в'язкою нікелевою основою, що забезпечує його надійне утримання в зоні тертя.

Якщо виходити з того, що руйнівний процес поверхні тертя починається із-за відсутності пластичних деформацій в зоні контакту, що приводить до накопичення в ній пружних деформацій і супроводжується розсіюванням частини енергії, затраченої зовнішньою роботою сил тертя, а також ці процеси є термодинамічно невірноваженими, то їх можна описати з допомогою дисипативної функції \mathcal{Y} [4]:

$$T \frac{d_i S}{dt} = \mathcal{Y} = \sum_i \frac{dW_{ae\dot{n}}^s}{dt} + I_c A_c,$$

де T – температура системи в °К;

$$\frac{d_i S}{dt} = \frac{d_i S}{S_e dt} - \text{швидкість зміни ентропії системи};$$

$$\frac{dW_{ae\dot{n}}^s}{dt} = \frac{dW_{ae\dot{n}}^s}{S_e dt} - \text{швидкість розсіювання енергії}$$

для i -го процесу протікаючого в системі;

S_e – площа поверхні контакту;

Рис. 1. Залежність зносостійкості від часу:

- 1 – Ni – TiC із зернистістю частинок 150 – 100 мкм,
- 2 – Ni – TiC із зернистістю частинок 50 – 40 мкм,
- 3 – Ni – TiC із зернистістю частинок 30 – 20 мкм,
- 4 – 40X після гартування (мартенсит),
- 5 – 40X після середнього відпуску (тросит),
- 6 – 40X після високого відпуску (сорбіт),
- 7 – У8 після гартування (структура мартенсит),
- 8 – У8 після середнього відпуску (структура тросит),
- 9 – У8 після високого відпуску (структура сорбіт).

$I_c A_c$ – потужність впливу попутних факторів.

Визначимо дисипативні функції процесів пластичної деформації та утворення вільних поверхонь взаємодії в яких концентруються сили розсіювання енергії та зародження дефектів кристалічної структури – дислокацій, яким передують пластична деформація. Дислокації накопичуються по границях зерен, що приводить до руйнування сил зв'язку з іншими фазами матеріалу і, як результат – викришування зерна тої чи іншої структури.

Для зручності введемо поняття хімічного потенціалу дислокації (робота, яка затрачується для утворення однієї дислокації):

$$j_d = \frac{t}{b}, \quad A_d = \Delta j_d = \frac{\Delta t}{\Delta b},$$

де j_d – хімічний потенціал дислокації; t – діючі в металі напруження; b – число дислокацій, яке припадає на одиницю деформованого металу; A_d – утворення та переміщення дислокацій; Δj_d – різниця хімічних потенціалів дислокацій для двох напружених станів металу; Δt – зміцнення металу в процесі його пластичного деформування.

В свою чергу, робота пластичної деформації, яка приводить до виникнення дислокації, запишеться:

$$dW_{ie} = dD A_d, \quad (1)$$

де $dD = \frac{dD}{S_e}$ – швидкість накопичення дислокацій в системі.

Поділивши обидві частини цього рівняння на dt , отримаємо вираз для дисипативної функції пластичного деформування металу:

$$j_{ae\dot{n}} = \frac{dW_{ie}}{dt} = \frac{dD}{dt} A_d = I_d A_d, \quad (2)$$

де $I_d = \frac{dD}{dt}$ – швидкість накопичення дислокацій,

віднесеної до одиниці поверхні контакту і залежить від енергії пластичної деформації в зоні контакту.

Представляючи процес руйнування в зоні тертя як відколювання частинок по границях їх об'єму за рахунок накопичення по них дислокацій, можна записати:

$$\sum_i s_i dS_i = s_m dS_m + s_o dS_o - s_d dS_d, \quad (3)$$

де s_o – питома поверхнева енергія в зоні контакту;
 dS_o – питома площа поверхні контакту (зона
 пластичної деформації); s_m – питома поверхнева
 енергія в процесі зміни площі контакту dS_m ; s_d і
 dS_d – питома поверхнева енергія і зміна площі
 поверхні дислокаційних границь.

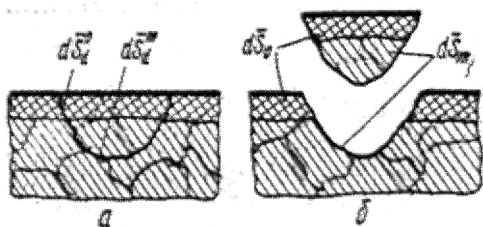


Рис. 2. Схема накопичення дислокацій на границях зерен: а – накопичення дислокацій, б – сколювання поверхні тертя.

На рис. 2 схематично представлений процес накопичення дислокацій по границях зерен за рахунок дисипативної енергії пластичної деформації поверхні тертя. З рисунку випливає:

$$s_d dS_d = s_d^o dS_d^o + s_d^m dS_d^m ;$$

$$2dS_d^o = dS_o ; \quad 2dS_d^m = dS_m ,$$

де s_d^m і dS_d^m – питома поверхнева енергія і зміна площі поверхні дислокаційних границь; s_d^o і dS_d^o – питома поверхнева енергія і зміна площі контакту. Звідси видно, що дисипативна енергія пластичнодеформованих поверхонь контакту тертя з врахуванням швидкості зміни її площі приводить до виразу дисипативної функції

$$y_s = \frac{dS_o}{dt} (-\Delta s_o) + \frac{dS_m}{dt} (-\Delta s_m), \quad (4)$$

де $\Delta s_o = s_o - \frac{s_d^o}{2}$; $\Delta s_m = s_m - \frac{s_d^m}{2}$.

Вирази $\frac{dS_o}{dt}$ та $\frac{dS_m}{dt}$ є показниками швидкості

зміни дисипативної енергії пластичної деформації на площах контакту в процесі тертя і залежать від багатьох факторів і в першу чергу від навантаження, часу контакту та швидкості процесу тертя (між парою тертя). Це знаходить підтвердження в роботах багатьох дослідників [5, 6], які показали, що енергія тертя трансформується в енергію дислокацій, що приводить до крихкості поверхневих шарів і сколювання окремих фаз в зоні контакту тертя.

Висновки

Отже, дисипативна енергія є результатом пластичної деформації поверхневого шару при терті і перетворюється у пружну енергію дислокацій, які зосереджуються по границях зерен структури матеріалу. Накопичення їх окрихчує поверхню тертя, що веде до сколювання і відповідно до руйнування деталі. Збільшення навантаження при терті підвищує дисипативну енергію пластичної деформації, що в свою чергу окрихчує поверхню тертя і руйнує її.

Вводячи у вираз дисипативної функції (4) коефіцієнти, які характеризують фактори умов тертя (навантаження, швидкість руху, циклічність, температуру і т.п.), а також структурну будову речовини, можна ексклюзивно оцінити характер і ступінь зношування матеріалу при сухому терті.

Лобурак В.Я. – інженер;
Перкатюк І.Й. – к.ф.-м.н., доцент.

[1]
 [2] G.A. Tomlison, P.L. Thorpe, H.J. Gough. Proc. Inst. Mech. Eng. 141, 323 (1939).
 [3] K. Dies. Archiv für das Eisenhüttenwesen 16, 399 (1943).
 [4] R.W. Heinemann, J. Moos, G.R. Schultze. Ein Beitrag zum Problem der reibkorrosion. Korrosion 16, 93 (1963).
 [5] R. Haaze. Termodinamika neobratimyh proces sov (Mir, Moskva, 1967).
 [6] E. Gassner. On the influence of fretting corrosion on the fatigue life of notched specimens of an Al – Cu – Mg 2 Alloy. Fatigue Aircraft Struct (Oxford, London, New York, Paris, Pergamon Press, 1963).
 [7] Warlow - Davies E.J. Proc. Inst. of Mech. Eng. 146, 32 (1941).

V.Ya. Loburak, I.Yo. Perkatyuk

Influence of Structure of the Surface Friction on Wear Resistance of the Material

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
²'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

We investigated process of wear in dry friction, based on the concepts of energy conversion of plastic deformation in the contact zone in a energy dislocation in the near-surface zone of friction.