

Викладена методика дозволяє визначати при змішаному контакті (метал-метал, метал – матеріал, що транспортується) зусилля на мікронерівність поверхні, аналізувати напружений стан в небезпечній частині мікронерівності

Ключові слова: напружений стан, мікронерівність поверхні

Изложенная методика позволяет определять при смешанном контакте (металл-металл, металл-транспортируемый материал) усилия на микронеровность поверхности, анализировать напряженное состояние в опасной точке микронеровности

Ключевые слова: напряженное состояние, микронеровность поверхности

The above technique allows to determine in mixed contact (metal-metal, metal-transported material) efforts at the microscopic surface, analyze the stress state in a dangerous point microasperities

Key words: stress, microscopic surface

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ ПРИ ЗМІШАНОМУ КОНТАКТІ

О.В. Акімов

Доктор технічних наук, завідувач кафедрою*
Контактний тел. (057) 707-63-20

В.Т. Акімов

Кандидат технічних наук
Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна

В.І. Альохін

Аспірант*

*Кафедра ливарного виробництва
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002
Контактний тел. (057) 707-68-54

Вступ

Процес зношування поверхонь під час тертя виникає при їх відносному ковзанні. Результат зношування – знос – залежить від багатьох чинників: величини тиску і нерівномірності його розподілу на поверхнях, режиму навантажування, шорсткості поверхонь, фактичної площі дотику, зближення поверхонь, відносної швидкості ковзання та інших факторів, визначаємих мікрогеометрією контактуючих поверхонь і їх фізико-механічними властивостями.

В цей час відомий ряд робіт І.В. Крагельського, Х.Б. Кордонського, М.М. Хрушова, Л.А. Шрейнера, М. Корріджа, І. Ланкастера та інших, із аналіза яких виходить, що природою зносу є втомленість [1]. При відносному ковзанні мікронерівності поверхонь контактують між собою, викликаючи руйнування їх внас-

лідок циклічної втомленості. Мікрорізання, корозія, руйнування містків схоплювання в окремих місцях (за винятком деяких випадків) є додатковими факторами, які інтенсифікують процес зношування.

У вугільній промисловості для доставки вугілля із лав використовуються скребкові конвеєри. Найбільш металоємною та зношуваною частиною їх є риштаки та скребкові лопати.

Головними причинами виходу із ладу риштаків є:
- зосереджене зношування днища на кінцях риштака;
- руйнування зварних з'єднань, деформація жолоба при вибуховонавалці, падінні кусків вугілля або породи та інші;

- корозії жолоба у разі високої агресивної агресивності шахтних вод.

Скребки тягового ланцюга, контактуючи із транспортованим матеріалом, особливо, з поверхнею риш-

таків в місцях перелому конвеєрного ставу, зношуються.

В роботі [2] був виконаний аналіз фізики зношення скребоків риштаків конвеєрів при металургійному контакті, розглянутий процес взаємодії мікронерівностей контактуємих поверхонь їх напружений стан при навантаженні, наведені умови, при яких вони руйнуються внаслідок циклічної втомленості.

Наведені аналітичні залежності зношування риштака у часі, які дозволяють визначити його фізичну довговічність.

В рівняння фізичної довговічності входять величини, які характеризують механічні властивості матеріалу риштака і скребка, їх термообробку, геометричну характеристику контактуємих поверхонь, конструктивні розміри скребка, тягового ланцюга і риштака.

Ціль і методика дослідження

Представляє інтерес дослідження впливу матеріалу який переміщується по риштаку на зношування риштаку. Матеріал який транспортується в лаві в більшості є кусковим. Його фракційний склад залежить від: виду і міцності матеріалу, типу ріжучого механізму добувної машини, виду навантажування матеріалу на конвеєр та інш. Реальні насипні матеріали визначаються величиною та формою частинок і початковим зчепленням між ними. Згідно дослідженням для реальних сипучих порід, до яких в більшості випадків може бути віднесена кускова гірнична маса, яка доставляється забойними конвеєрами, зчеплення між частинками незначне і ним можна знехтувати. Насипні матеріали за кусковатістю (крупністю частинок) достатньо добре характеризується кутом внутрішнього тертя, який ураховується при визначенні об'єму і ваги матеріалу, що знаходиться між суміжними скребками.

Для дослідження взаємодії матеріалу, який транспортується, із поверхнею риштака приймаємо, що матеріал складається із кульок певного діаметра, які щільно укладені по об'єму риштака між скребками. Кількість кульок на поверхні риштака дорівнює:

$$K_k = \frac{4\tau_c B_p}{\pi d_k^2} \approx \frac{\tau_c B_p}{d_k^2} \tag{1}$$

тут: d_k - діаметр кульки;
 τ_c - крок скребоків тягового ланцюга;
 B_p - ширина риштака в поперечному перетині.
 Навантаження на кожную кульку дорівнює:

$$g = \frac{G}{K_k} = \frac{G d_k^2}{\tau_c B_p} \tag{2}$$

тут G – вага порції матеріалу, що транспортується між суміжними скребками.

Також припускається, що при перемішуванні в процесі руху кульки міняються місцями, але вертикальна загрузка на кульку залишається постійною.

Згідно методики [3] навантаження на мікронерівність поверхні риштака дорівнює:

$$\bar{g} = \frac{r h^{\frac{3V_1}{2V_1+1}} \times J_1^{\frac{1-V_1}{2V_1+1}} \times K_2^{\frac{2V_1-2}{2V_1+1}}}{d_0 V_1 \times 1,5^{\frac{2V_1-2}{2V_1+1}} \times 0,721^{\frac{6}{2V_1+1}} \times \frac{3}{1}^{\frac{2V_1-2}{2V_1+1}} \times J_1 \times (\cos \alpha_p)^{\frac{2V_1}{2V_1+1}}} \times \left(\frac{G}{\tau_c B_p} \right)^{\frac{1}{2V_1+1}} \tag{3}$$

тут: J_1 - пружна константа стичних тіл;
 J_1 – сума кривизн стичних тіл;
 r, h – радіус основи і висота мікронерівності поверхні риштака;
 α_p - кут нахилу риштачного постава;
 V_1, B_1 – константи кривої опорної поверхні [2];
 K_2 – коефіцієнт, графік залежності якого від V_1 приведений в [2];
 α_0 – коефіцієнт, який ураховує різницю фактичної площі контакту від площі перерізу мікроступів при тому же зближенні [1].

Мікронерівності матеріалу, що транспортується, контактують з мікронерівностями поверхні риштака навантажуючи їх. Мікронерівності риштака знаходяться під дією сили \bar{g} і сили протидії переміщенню мікронерівності матеріалу, що транспортується, по мікронерівностям риштака (рис. 1).

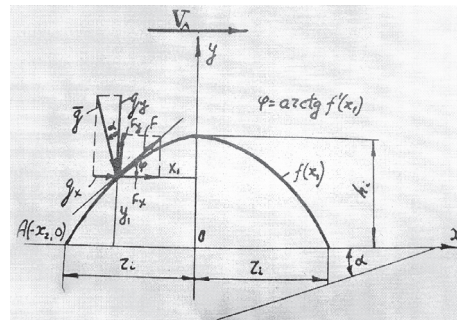


Рис. 1. Схема навантаження мікронерівності риштака матеріалом, що транспортується

Напруження в небезпечній точці А $(-x_2, 0)$ основи мікронерівності (в рамках звичайних припущень опору матеріалів) при прикладенні сили в точці (x_1, y_1) дорівнюють:

$$\sigma_2 = (-x_2, 0) = \frac{g_y + F_y}{A_i} - \frac{(g_x + F_x) y_1 x_2}{J_i} + \frac{(g_y + F_y) x_1 x_2}{J_i} \tag{4}$$

тут: A_i, J_i – площа і момент інерції основи радіусом чи мікронерівності;

$$f(x) = h_1 \left[1 - \left(\frac{x}{r_1} \right)^2 \right] \text{ - рівняння контуру мікронерівності в перетині, в роботі мікронерівності поверхні риштака моделюються як параболоїди, що достатньо, принаймні, для якісного аналізу [2].}$$

принаймні, для якісного аналізу [2].

$$F_x = \bar{g} f \frac{\cos \alpha_p}{1 + [f'(x)]^2} \left[f'(x) \operatorname{tg} \alpha_p + 1 \right] \tag{5}$$

$$F_y = \bar{g} f \frac{f'(x) \cos \alpha_p}{1 + [f'(x)]^2} \left[f'(x) \operatorname{tg} \alpha_p + 1 \right] \tag{6}$$

F_x, F_y – проекція сили опору переміщеного відповідно на вісь x і y ;

f – коефіцієнт опору переміщенню мікронерівності матеріалу по мікронерівності риштака;

g_x, g_y – проекції навантаження \bar{g} відповідно на вісь x і y . З урахуванням (5) і (6) і при виконанні деяких перетворень формула (4) отримає вигляд:

$$\sigma_2 = (-x_2, 0) = \frac{\bar{g}}{\pi r_1^2} \Psi_1(x_1, x_2) \quad (7)$$

тут:

$$\Psi_1(x_1, x_2) = \cos \alpha_p \left\{ \left[\frac{f'(x)f}{1+[f'(x)]^2} \left[f'(x) \operatorname{tg} \alpha_p + 1 \right] - 1 \right] + \frac{4x_2}{r_1^2} \left\{ x_1 \left[\frac{f'(x)f}{1+[f'(x)]^2} \left[f'(x) \operatorname{tg} \alpha_p + 1 \right] - 1 \right] - y_1 \left[\frac{f}{1+[f'(x)]^2} \left[f'(x) \operatorname{tg} \alpha_p + 1 \right] - 1 \right] \right\} \right\} \quad (8)$$

Аналіз функції $\Psi_1(x_1, x_2)$ для фіксованого значення $x_2 = -r_1$ для параметрів мікронерівності риштака $\frac{h_i}{r_1} = 0,2; 0,4; 0,6$ і $\alpha_p = 0; 10^\circ; 20^\circ$ свідчать, що навантаження \bar{g} змінюється циклічно. Величина навантаження \bar{g} змінюється також в залежності від механічних властивостей матеріалу, що транспортується, його кусковатості, форми і гострокутності кусків і т.інш. Отже, мікронерівність риштака з її випадковими геометричними параметрами зазнає випадкову послідовність навантажень \bar{g} . Усреднюючи $\sigma_{ari} = \max |\sigma_2(-x_2, 0)|$ за всіма випадковими параметрами (за допомогою декількох коефіцієнтів еквівалентності) можна замінити σ_{ari} величиною пропорційною середньому зусиллю \bar{g} :

$$\sigma_{ari} = \bar{g} k_{ec} k_{dc} \operatorname{Max} \left[\frac{1}{\pi r_{i2}} \Psi_1(x_1, x_2, r_i, h_i) \right] \quad (9)$$

тут: K_{dc} – коефіцієнт динамічної взаємодії мікронерівності матеріалу, що транспортується, і поверхні риштака;

K_{ec} – коефіцієнт еквівалентного навантаження, приймається в залежності від коефіцієнта варіації навантаження [5].

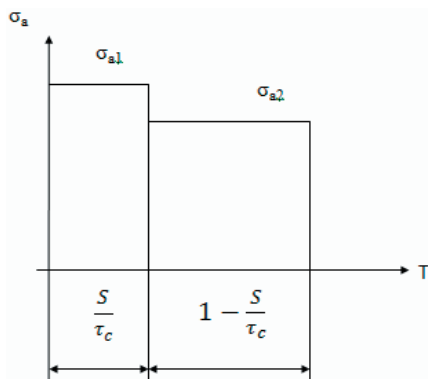


Рис. 2. Навантажувальний режим мікронерівності при змішаному контакті

При змінному контакті мікронерівності риштака будуть вступати періодично в контакт з мікронерівностями скребка і переміщуваного матеріалу. Порядок середніх напружень при дії матеріалу і при чисто металевому контактах приблизно той же самий. Попередні оцінки показують, що різниця в частотах навантаження мікронерівності матеріалом, що транспортується, і поверхнею скребка навряд чи різниться більше, чим на порядок.

Діаграма навантаження мікронерівності риштака може бути приведена до еквівалентності двоступінчастої діаграми (рис. 2).

Приймаючи приблизно амплітуди циклів рівними у разі чисто металевого контакту

$$\sigma_{ali} = \bar{P}_n k_{ec} k_{dc} \operatorname{Max} \left[\frac{1}{\pi r_{i2}} \Psi(x_1, x_2, r_i, h_i) \right] \quad [2]$$

і при контакті матеріалу, що транспортується, з поверхнею риштака (9), еквівалентне напруження в небезпечній точці мікронерівності можна визначити:

$$\sigma_e = \sigma_a K_e \quad (10)$$

$$\text{тут: } K_e = m \sqrt{\frac{s}{\tau_c} + \left(1 - \frac{s}{\tau_c}\right) \left(\frac{\sigma_{a2}}{\sigma_{a1}}\right)^m} \quad (11)$$

S – ширина скребка конвеєра;

m – показник ступеня кривої втомленості.

Оцінимо орієнтовно граничну за втомленістю кількість навантажень N^* мікронерівності контактуємої поверхні риштака, приймаючи звичайне ступеневе рівняння кривої втомленості Веллера і також припускаючи, що усі напруження визивають накопичення пошкоджень від втомленості.

За час dt скребок разом з матеріалом пройде шлях $V_\Lambda dt$ і кількість N_p циклів виникнення напружень σ_e у мікронерівності поверхні риштака досягне:

$$dN_p = \frac{V_\Lambda dt}{l(x_c)} \quad (12)$$

тут: V_Λ – швидкість руху матеріалу, що транспортується, і тягового ланцюга;

$l(x_c)$ – відстань між мікронерівностями контактуємої поверхні риштака.

Гранична кількість циклів навантаження:

$$N_* = N_1 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_5}\right)^m = N_1 \left(\frac{\sigma_1}{K_e q \bar{P}_n}\right)^m \quad (13)$$

тут: K_e - коефіцієнт еквівалентного навантаження (11);

N_b - кількість циклів, що відповідає базі випробувань на втомленість;

σ_1 - максимальне напруження, що відповідає N_b (умовна границя витривалості);

q - коефіцієнт, що визначається за формулою [2];

\bar{P}_n - середнє контактне зусилля у вершині мікронерівності [2].

Таким чином, допускаючи відтворення шорсткості при сталому режимі зношення й приймаючи, що кожний прошарок зношується на усїєї його товщині на величину h (рис. 1) можна встановити закон зношення риштака (скребка) у часі.

Зношення риштака (зменшення товщини його днища) за час dt дорівнює:

$$dx_p = \frac{dN_p}{N_*} \bar{h}_i = \frac{V}{N_1} \frac{q^m K_e^m \bar{h}_i^m \bar{P}_n^m}{\sigma_1^m \cdot l(x_c)} dt \quad (14)$$

Висновки

Ця методика дозволяє визначити при змішаному контактї зусилля на мікронерівність поверхні,

аналізувати напружений стан в небезпечній точці мікронерівності, визначити еквівалентне напруження. Приймаючи звичайне ступеневе рівняння кривої втомленості Веллера і припускаючи, що напруження визивають накопичення пошкоджень від втомленості, можна оцінити орієнтовно граничну за втомленістю кількість навантажень мікронерівності, в подальшому проаналізувати процес зношування поверхонь у часі (в умовах прийнятих припущень).

Література

1. Крагельский И.В. Об усталостной природе износа твердых тел. Сб. «Вопросы механической усталости». –М.: Машиностроение, 1964.
2. Акимов В.Т. К физике износа скребков и раштатов конвейеров при металлургическом контакте. В.Т. Акимов, В.Ф. Шухайло. Изв. вузов. Горный журнал, - 1966. -№9.
3. Демкин Н.Б. Контакт шероховатых поверхностей. Сб. «Новое в теории трения». –М.: Наука, 1966.
4. Акимов В.Т. Рабочая модель контакта поверхностей элементов транспортирующих машин. В.Т. Акимов, А.А. Мельниченко. Сб материалов НТК. Сумы: Сум ГУ, 1996.
5. Давыдов Б.Л. Расчет и конструирование угледобывающих машин. – М. Госгортехиздат, 1963.