

**І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук**

Кіровоградський національний технічний університет

Проектування складу композиційного покриття в умовах абразивного зношування

В статті наведено результати теоретичних досліджень, які дають можливість вибирати склад композиційних покриттів для умов абразивного зношування.

композиційне покриття, абразивна частинка, зношування, матриця, наповнювач

Вирішальним фактором довговічності деталей сільськогосподарських машин, які в процесі експлуатації взаємодіють з абразивом, є їхня абразивна стійкість. Процес абразивного зношування може мати місце у випадку, коли напруження, створене абразивною частинкою перевищує границю міцності досліджуваної поверхні. Це відбувається тоді, коли частинка діє на робочу поверхню деталі без ковзання. При ковзанні абразивна частинка переміщуючись по поверхні здійснює сумісну дію нормальних і тангенціальних сил, що значно ускладнює умови виникнення пластичної деформації й руйнування поверхні.

Найбільш інтенсивним є зношування деталей при терті з закріпленими абразивними частинками. Процес зношування у цьому випадку супроводжується як пружними, так і пластичними деформаціями з наступним зрізанням і сколюванням мікрооб'єктів композиційного покриття (КП). Чим вище опір матеріалу на відрив або зрізування, тим більше підвищується опір абразивному руйнуванню.

Вважається [1, 2], що при абразивному зношуванні композиційних матеріалів питомі контактні навантаження сприймаються в основному частинками зміцнюючої фази, а матрична складова служить демпфіруючим матеріалом для передачі навантаження, є зв'язуючим компонентом, що забезпечує цілісність і щільність покриття, а також надійне зчеплення з основою деталі.

Оскільки композиційний матеріал не є гомогенним, то його властивості чутливі не лише до властивостей компонентів, а й до їх геометрії та співвідношень за складом.

Як показано в роботі [1] стійкість композиційного покриття в умовах абразивного зношування залежить від діаметра наповнювача, відстані між частинками та їх об'ємного вмісту.

При теоретичному обґрунтуванні працездатності КП розглянемо гетерогенний матеріал як єдине ціле, але при цьому необхідно враховувати наявність складових, що мають різну пружність, пластичність та інші фізико-механічні і теплофізичні характеристики.

© І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, 2010

Цілком очевидно, що при навантаженні такого композиційного матеріалу на поверхні дотику абразивна частинка-КП виникає певна міжконтактна взаємодія. Ця взаємодія породжує ефект, який або сприяє роботі композицій, або ж фактично обмежує її працездатність. У будь-якому випадку дуже важливо врахувати зазначену взаємодію.

Встановлення залежностей між розмірами та кількістю частинок, а також параметрами контактування з поверхнею тертя іншої деталі дозволить визначити раціональні розміри фактичних площ контакту (ФПК) кожного з компонентів композиції, а також величини діючих питомих навантажень на цих площинках при їх відносному переміщенні.

В подальшому, враховуючи питомі контактні навантаження, температуру та лінійне розширення матеріалів композиції (з урахуванням теплофізичних характеристик)

представляється можливим провести розрахунок сумарної сили тертя на робочій поверхні при різних схемах навантаження і визначити інтенсивність зношування композиційного матеріалу.

Очевидно, що знаходження розрахункових залежностей між величинами структурних компонентів і силою тертя дозволить оцінити їхній вплив на значення коефіцієнтів тертя і визначити оптимальні розміри та об'єм твердих включень в матриці.

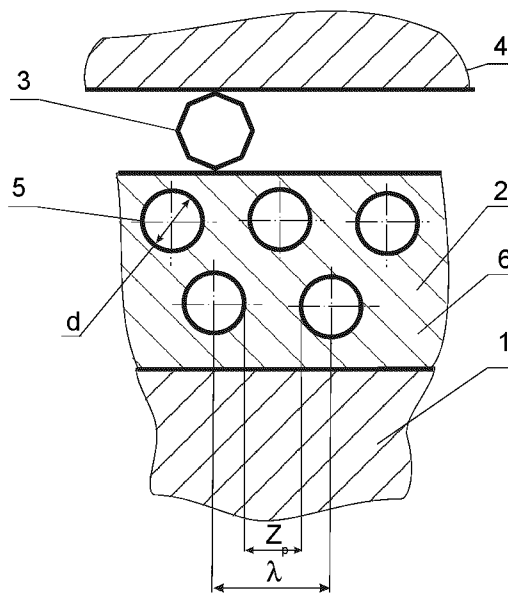
Зважаючи на високу міцність і низьку пластичність включень матеріалу, частина навантаження, яке сприймається твердими включеннями, буде передаватися вглиб композиційного матеріалу через поверхню розділу включень наповнювача і матриці.

Основними змінними, від яких залежить ефективність зміцнення КП є радіус частинок r (d – діаметр), концентрація частинок наповнювача c , вільний шлях λ між частинками наповнювача, відстань між цими частинками Z_p (рис. 1). Ці величини зв'язані між собою співвідношенням [3]:

$$\lambda = \frac{4}{3} \langle r \rangle \frac{1-c}{c}, \quad (1)$$

де c – об'ємна концентрація матеріалу наповнювача;

$$Z_p = \sqrt{\frac{8}{3} \langle r \rangle^2 \cdot \frac{1-c}{c}}. \quad (2)$$



1 – вал (матеріал основи); 2 – композиційне покриття; 3 – абразивна частинка; 4 – контргтіло (спряжена деталь); 5 – керамічний наповнювач; 6 – металева матриця покриття

Рисунок 1 – Схема композиційного покриття

Якщо припустити, що дисперговані частинки наповнювача створюють тривимірне пуассонівське поле з густиною μ (середня кількість частинок в одиниці об'єму)

$$\mu = \frac{3c}{4\pi \langle r \rangle^3} \quad (3)$$

і диференціальною функцією розподілу

$$f_n(r) = \frac{(\mu V)^n}{n!} e^{-\mu V}, \quad (4)$$

де $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – об'єм сфери радіусом r ;

n – кількість частинок у цьому об'ємі;

Функція $f(r)$ у випадку, коли в сферу радіусом r потрапить хоч би одна точка, матиме вигляд

$$f(r) = 4\pi r^2 \mu e^{-\mu \frac{4}{3}\pi r^3}. \quad (5)$$

В цьому випадку середня відстань між частинками $\langle Z_p \rangle$ може бути визначена

$$\langle Z_p \rangle = \int_0^{\infty} r \cdot f(r) dr = 4\pi \mu \int_0^{\infty} r^3 e^{-\mu_1 r^3} dr, \quad (6)$$

де $\mu_1 = \frac{4}{3}\pi \mu$.

Якщо позначити $\mu_1 r^3 = t$, звідки $r = \sqrt[3]{\frac{t}{\mu_1}}$, а $dr = \frac{1}{3\sqrt[3]{\mu_1}} t^{-2/3} dt$, то

$$\langle Z_p \rangle = 4\pi \mu \frac{1}{3\sqrt[3]{\mu_1}} \int_0^{\infty} \frac{t}{\mu_1} e^{-t} t^{-2/3} dt = \frac{\langle r \rangle}{3c^{1/3}} \Gamma\left(\frac{1}{3}\right), \quad (7)$$

де $\Gamma\left(\frac{1}{3}\right)$ – гама-функція від $1/3$, значення якої дорівнює

$$\frac{\Gamma\left(\frac{4}{3}\right)}{\frac{1}{3}} = 3 \cdot 0,893 = 2,679.$$

Отже
$$\langle Z_p \rangle = 0,893 \frac{\langle r \rangle}{c^{1/3}} \approx 0,447 \frac{\langle d \rangle}{c^{1/3}}. \quad (8)$$

Передача контактних навантажень в матрицю КП через тверді включення носитиме дискретний характер. В зв'язку з цим необхідно розрахувати таку величину навантаження, яку тверді включення здатні передавати на матричний матеріал за рахунок пластичності зв'язку з врахуванням пружного деформування складових КП.

У випадку плакування частинок наповнювача нікелем матриця, окрім конструктивних особливостей, здатна виконувати функцію твердого металевого мастила на поверхні твердих включень, що забезпечує підвищену несучу здатність і зниження інтенсивності зношування. Поліпшення зносних характеристик КП визначається передусім раціональною структурою поверхні композиції: за рахунок оптимального сполучення частинок наповнювача і матриці, а також необхідної різниці теплофізичних характеристик складових композиційного матеріалу.

Розглянемо силову навантаженість композиційного матеріалу при різних умовах зовнішньо-силового впливу на контакті тертя.

Використовуючи правило суміші, для КП можна записати, що питома сила тертя на робочій поверхні

$$\tau_{тр} = (1 - c)\tau_m + c\tau_n, \quad (9)$$

де τ_m , τ_n – питома сила тертя для матричного матеріалу і зміцнюючої фази при тому ж навантаженні.

Вираз для сили тертя матиме вигляд

$$F_{\text{тр}} = ((1 - c)\tau_m + c\tau_n)A_r, \quad (10)$$

де A_r – фактична площа контакту, яка складається з суми площ одиничних плям дотику, які розташовані на вершинах нерівностей.

Величина діаметру одиничної плями дотику для реальних умов контакту металевих поверхонь складає 10...20 мкм.

Мікронерівність робочої поверхні КП може бути представлена матеріалами матриці, наповнювача або їх поєднанням. В останньому випадку кількість мікронерівностей буде інакше впливати на процеси в зоні тертя, ніж у випадку, коли дисперсні частинки разом з матрицею об'єднані в гомогенну структуру.

Властивості КП, зміцненого частинками наповнювача, в залежності від їх розміру відображають ті умови контактування твердих поверхонь, при яких спостерігається якісно різний вид деформації мікронерівностей композиційного матеріалу, оскільки параметри контактування визначаються механічними властивостями матеріалів мікронерівностей.

При цьому слід розглянути два характерні випадки: а) коли контактні напруження перевищують границю текучості матеріалу, тобто контактування викликає пластичну деформацію, б) для напружень, що носять пружний характер, коли залишкові деформації відсутні.

При умові пластичного контакту в зоні тертя відносна площа одиничної площинки дотику може бути визначена за формулою [1]:

$$\eta = \frac{q}{\zeta},$$

де q – питома навантаження;

ζ – мікротвердість матеріалу ($\zeta = H_m$).

Для композиції з величиною твердих включень наповнювача 1 мкм твердість ζ буде визначатися величиною напруження стиску на поверхні одиничної плями дотику, яка може включати частинки наповнювача або матрицю.

При розмірах зміцнюючих частинок більше 30 мкм фактична площа контакту КП з поверхнею тертя являє собою суму одиничних площ дотику мікронерівностей як матеріалу матриці, так і зміцнюючого матеріалу.

Відносні площі дотику матриці і твердого включення

$$\eta_m = \frac{q_m}{\zeta_m}; \quad \eta_n = \frac{q_n}{\zeta_n}, \quad (11)$$

де q_m, q_n – питомі навантаження, що припадають на матеріал матриці та наповнювача; ζ_m, ζ_n – відповідно мікротвердості для матеріалу матриці та наповнювача.

$$q = q_m + q_n; \quad z_m = (1 - c) \cdot z; \quad z_n = cz,$$

де v – відносна площа дотику

$$q = \eta((1 - c)\zeta_m + c\zeta_n). \quad (12)$$

Сила тертя для КП з твердими включеннями більше 30 мкм може бути

$$F_{\text{тр}} = \frac{(1 - c)\tau_m + c\tau_n}{(1 - c)\zeta_m + c\zeta_n} q A_c. \quad (13)$$

Порівняння виразів сили тертя для композицій з певними величинами включень наповнювача дозволяє уявити механізм формування питомої сили тертя на поверхні композиційного матеріалу наступним чином. Перша складова питомої сили тертя формується по напруженням зрізу на поверхні контакту і зусилля, що викликає пластичну деформацію мікронерівностей; а друга складова питомої сили тертя залежить від частки наповнювача в об'ємі КП.

Таким чином, вираз (13) дає можливість, порівнюючи сили тертя для КП з різним співвідношенням компонентів, проектувати такий склад КП, при якому сила тертя його з різними матеріалами буде мінімальною.

Список літератури

1. Белоусов В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами.– Львов: Вища школа, 1984.– 180 с.
2. Добровольский А. Г., Кошеленко П. И. Абразивная износостойкость материалов.– К.: Техника, 1989.– 128 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела.– М.: Наука, 1978.– 792 с.

И. Василенко, И. Шепеленко, М. Красота

Проектирование состава композиционного покрытия в условиях абразивного изнашивания

В статье приведены результаты теоретических исследований, которые дают возможность выбирать состав композиционных покрытий для условий абразивного изнашивания.

I. Vasilenko, I. Shepelenko, M. Krasota

Design of composition coating compound under abrasion conditions

In the article are the results of theoretical researches, which enable to choose composition of compositions covering for conditions abrasive wear-out.

Одержано 02.04.10