

ДИСЛОКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕРТЯ БАГАТОШАРУВАТИХ ПОКРИТТІВ

Для надійної експлуатації існуючого рухомого складу необхідно здійснювати якісний ремонт. Один з напрямів розвитку ремонтного виробництва - розвиток нових технологій відновлення деталей, що зношуються. Розглянута дислокаційна модель тертя та вплив шаруватості на зносостійкість покриттів.

Для надежной эксплуатации существующего подвижного состава необходимо осуществлять качественный ремонт. Одно из направлений развития ремонтного производства - развитие новых технологий восстановления изнашивающихся деталей. Рассмотрена дислокационная модель трения и влияние слоистости на износостойкость покрытий.

For maintenance of the existing rolling-stock in working order it is necessary to carry out qualitative repair. One of directions of development of repair manufacture is the development of new technologies of restoration of the worn out details. It is considered disposition model of friction and influence of lamination on wear resistance of coverings.

При вирішенні таких важливих задач, як підвищення надійності експлуатації та збільшення ресурсу вузлів та механізмів треба підходити комплексно. Як відомо, на ресурс деталей впливає багато чинників, починаючи зі стадії проектування, виготовлення, експлуатації, ремонту та безпосередньо матеріалів цих деталей. Якщо проектування, виготовлення і експлуатацію деталей рухомого складу не розглядати, оскільки це прерогатива конструкторських бюро, то є можливість підвищення ресурсу деталей при їх ремонті, а саме при відновленні зношених деталей. Розглянемо це питання більш детально.

Впливати на ресурс при відновленні зношених деталей можна використовуючи той або інший метод нанесення, а також матеріали відновлювальних покриттів. Збільшення ресурсу відновлених деталей можливе за умовою зменшення зношування, тому постає задача підбору технологічних параметрів методу відновлення та матеріалів. Але для того, щоб знати, яким чином відновлювальні матеріали впливають на зношування необхідно розглянути вплив структури матеріалів на їх основні механічні властивості.

Можна стверджувати, що в механізмі руйнування контактуючих поверхонь при терті головним чинником є упругопластична деформація. При цьому треба враховувати, що на відміну від об'ємного напружено-деформованого стану поверхневих шарів, при терті максимальні напруження виникають в мікрооб'ємах поверхневого шару. Це легко пояснити тим, що поверхні контактують окремими мікроставами. Тому на-

пруження, що виникають в поверхневих шарах залежать як від шорсткості контактуючих поверхонь, так і від умов тертя: навантаження, наявності змащення, швидкості ковзання і таке інше. Тобто при взаємодії поверхонь в кожному мікроставі виникає циклічна зміна знаків напружень. На механізм пластичної деформації також впливає дифузія зовнішнього середовища, та внаслідок активації поверхневих шарів збільшення дефектності структури металів.

З аналізу літературних джерел можна зробити висновок: параметром мікроструктури, що найбільш часто вимірюють є розмір зерна. Змінюючи розмір зерна можна керувати міцністю та в'язкістю метала, наприклад, зменшення розмірів зерна може привести до одночасного підвищення міцності і в'язкості металу, а це у свою чергу, до збільшення опору крихкому руйнуванню. Існує встановлена експериментально залежність напруження течії σ_s від розміру зерна D металу:

$$\sigma_s = \sigma_0 + kD^{-\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Встановлено також, що напруження течії σ_s лінійно залежить від розміру субзерен, який є елементом субструктури $\varepsilon^{-\frac{1}{2}}$. В [1] отримана залежність на основі загальних положень дислокаційної теорії:

$$\sigma_s = \alpha\varepsilon^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

При терті структура тонких поверхневих шарів як металів, так і сплавів характеризується значною густиною дислокацій (дефектів кристалічної решітки). При ударних навантаженнях деталей (хвостовик автозчіпки – ударна плита, хвостовик – клин та інше), ковзанні (валики гальмової важільної передачі, штоки гідравлічних гасників коливачів та інше) у поверхневому шарі досягаються значення густини дислокацій на один-два порядки вище, ніж при звичайних видах напруженого стану для того ж ступеню залишкової деформації. В той же час, як відомо, характеристики структури поверхневих шарів при терті визначаються співвідношенням нормальної та тангенціальної складових навантажень та властивостями граничного шару змазки. А оскільки швидкість руху дислокацій є функцією напруження зсуву, то у при поверхневих шарах кристалу швидкість руху дислокацій може суттєво перевищувати швидкість їх руху в об'ємі матеріалу.

Саме наявність дислокацій, їх рух та взаємне розташування у кристалічній решітки визначає механізм пластичної деформації шарів при контактній взаємодії і призводить до певних особливостей механізму тертя та зносу. Невипадково в ряді робіт в основу розрахунку сили і коефіцієнта тертя покладена дислокаційна модель зовнішнього тертя. Це пов'язано з тим, що пластична деформація має дислокаційну природу і являється основним наслідком контактної взаємодії поверхонь.

Як показано в дослідженнях [2] процес деформації є стадійним. Стадії деформування відображують ступінь розвитку і накопичення мікроруйнувань. Автор виділяє, як мінімум три стадії: на першій практично не порушується суцільність матеріалу, а основний процес деформування є пластично-диструкційним. На другій стадії порушення суцільності матеріалу накопичуються по всьому об'єму зразка. Третя стадія – локальний розвиток процесу руйнування зразка, який починається з поверхні і поширюється вглибину по перетину.

На пластичну деформацію впливає рух дислокацій в певних кристалографічних площинах і напрямках. При зміні знаку навантаження (напружень), дислокації починають рух у зворотному напрямку, тим самим викликаючи зворотну течію і петлю гістерезису. Це явище називають ефектом зворотності і пов'язують з ефектом Баушенгера, величина якого залежить від амплітуди деформації. Зворотний рух дислокацій приводить до зародження точкових дефектів типу вакансій. Поява мікропорожнин сприяє появі і розвитку мікротріщин, які у свою чергу

приводять до руйнування матеріалу. На інтенсивність процесу зворотно-поступального руху дислокацій і пов'язаного з ним розвитку мікропошкоджень матеріалу впливає структура матеріалу, яка залежить від величини та характеру навантаження, а також від попередньої термічної обробки.

Створення зони низької густини дислокацій пов'язано з кінетикою розвитку дислокацій в поверхневих шарах при терті і величиною потенціального бар'єру. Глибина зони зниженої густини дислокацій залежить від напруження тертя дислокацій, тобто напруження, що гальмує рух дислокацій. Зміна напруження тертя впливає на розподіл дислокацій в плоских скупченнях, положення яких задовольняє системі рівнянь рівноваги [3]:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{Ab}{X_j - X_i} - b\tau = 0 \quad (j = 1, 2, 3 \dots n), \quad (3)$$

$$A = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} [\sin \alpha + (1-\nu) \cos \alpha], \quad (4)$$

де b - вектор Бюргерса;

τ - зовнішнє прикладене напруження;

X_j - координата j -ої дислокації;

X_i - координата інших дислокацій в скупченні;

G - модуль зсуву;

ν - коефіцієнт Пуассона;

$n = \frac{\pi L \tau}{Gb}$ - число дислокацій в скупченні;

L - довжина скупчення;

α - кут між лінією дислокації і вектором Бюргерса.

При наявності сил тертя напруження, що необхідні для утримання дислокацій в положенні рівноваги, необхідно зменшити на величину напружень тертя σ_f . Тоді (3) прийме вигляд

$$\sum_{\substack{i=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{Ab}{X_j - X_i} - b(\tau - \sigma_f) = 0 \quad (j = 1, 2, 3 \dots n), \quad (5)$$

Розв'язання рівнянь (3)-(5) дозволяє визначити σ_f по розташуванні дислокацій у скупченні.

З роботи [4] витікає, що процес зношення пов'язаний із зміною структури металу при пластичній деформації тертям

$$I = f(A, E, F_\beta), \quad (6)$$

де I - інтенсивність зношування; A - робота тертя; E - модуль пружності матеріалу; F_β -

характеристика ширини (фізичної) інтерференційних ліній (як правило, вона є функцією розміру блоків мозаїки та мікро напружень). Інакше кажучи F_B характеризує густину лінійних дефектів матеріалу. Між зносом і параметром F_B спостерігається пряма пропорційність.

Дослідження науковців показують, що одним із факторів, що перешкоджають вільному виходу дислокацій на поверхню, можуть бути різні тверді поверхневі шари кристалу: окисні чи гідроокисні або металеві плівки, тощо. Із збільшенням модуля пружності плівок зростає опір виходу дислокацій. Також помітно посилює опір виходу дислокацій може відмінність параметрів ґратки та підложки, характер кристалічної структури та інше.

В концепції викладеного вище можливість впливати на рух дислокацій та чинити опір їх виходу дає шарувата структура покриття. Це обумовлено створенням потенціальних бар'єрів на шляху руху дефектів кристалічної ґратки. На основі аналізу зміни дислокаційної структури при зовнішньому терті можна припустити, що сила тертя пов'язана зі змінами дислокаційної структури, які виникають на поверхнях тертя. При цьому зовнішня робота при терті відповідає внутрішній роботі по зміні дислокаційної структури. Таким чином, роботу тертя деталей можна частково перевести в роботу шарів.

Зауважимо, що однозначних оцінок і залежностей тертя від дислокаційної структури на даний час немає. Це пояснюється неможливістю точного експериментального визначення істинної густини дислокацій в момент контактної взаємодії. Однозначно можна лише зазначити, що затрати енергії при терті не визначаються лише дислокаційними процесами в поверхневих шарах. При терті зона пластичної деформації не обмежується поверхневими нерівностями, а йде на глибину покриття. При цьому поверхневий шар покриття може мати невелику густину дислокацій. При ковзанні дислокації накопичуються на деякій відстані від поверхні, що приводить до виникнення мікропустот в шарі з підвищеною густиною дислокацій. Виникнення пустот інтенсифікується. З часом мікропустоти коалесцирують шляхом зростання або зрушення матеріалу, що приводить до виникнення тріщин, паралельних поверхні зносу. Коли тріщини досягають критичної довжини, матеріал між тріщиною і поверхнею витягується в тонку пластину і відшаровується. Взаємодія поверхонь при терті твердих тіл приводе до упругопластичних деформацій поверхневих

шарів, які можуть досягати граничних значень, змінюючи фізичні та механічні властивості матеріалів, їх структуру та характер протікання процесів.

Впливати на структуру шарів відновлювальних покриттів в залежності від методу їх нанесення можна за допомогою використання різних матеріалів або змінюючи режими технологічного процесу, або комбінуючи обидва варіанти. Оскільки найбільш поширеними відновлювальними технологіями є наплавка, газотермічне наплення та електролітичні методи, то, на наш погляд, доцільно на ці технології звернути найбільшу увагу. Нанесення шаруватих покриттів дає можливість отримувати нові механічні властивості відновлених деталей з точки зору зростання їх ресурсу. Наприклад, наші дослідження показали, що нанесення шарів наплавкою в такій послідовності: дріт Св08Г2С (перший шар, накладається на поверхню деталі), дріт 30ХГСА (другий шар), дріт 65Г (третій шар, умовно «робочий» – безпосередньо контактує з контртілом) приблизно на 12...16 % зменшує зношення покриття. Наведений приклад в найбільшому ступені стосується відновлення зношених поверхонь хвостовика автозчеплення та його «контртіла» – упорної плити. Враховуючи, що зноси вказаних деталей досягають 12 мм, а в окремих випадках і 20 мм, то наплавлення за запропонованою технологією є доцільним. Застосування розробленої технології отримання шарових покриттів дозволяє стримувати зростання, вільне переміщення та об'єднання дефектів і таким чином значно зменшити зношення деталей.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Трефилов В. И. Физические основы прочности тугоплавких металлов / В. И. Трефилов, Ю. В. Мильман, С. А. Фирстов. – К.: Наукова думка, 1975. – 315 с.
2. Рыбакова Л. М. Структура и износостойкость металла / Л. М. Рыбакова, Л. И. Куксенова. – М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
3. Ройтбурд А. Л. К исследованию микронапряжений в поликристаллах / А. Л. Ройтбурд, В. П. Рутберг, М. П. Усиков, Л. М. Утевский. – Физика твердого тела, 1964. Т. 6. С. 321.
4. Громаковский Д. Г. Идентификация физической модели износа, описанной уравнениями математической физики. / Д. Г. Громаковский, А. И. Лашманов, Б. А. Романчев // Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по физике прочности и пластичности металлов и сплавов. – Куйбышев, 1976. С. 9.

Надійшла до редколегії 19.09.2007.