

УДК 621.785

ПРОЯВ ЕФЕКТУ СТРУКТУРНОЇ ПРИСТОСОВУВАНOSTІ ПРИ ТРИБОЛОГІЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ПОКРИТТЯ, ОТРИМАНОВОГО МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОЇ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ

О. В. Манько, О. О. Паламар, А. Є. Стецько

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Розглянуто прояви ефекту структурної пристосовуваності в парі тертя «валик-втулка», згідно з дослідженнями змін структури зміцненого покриття. Показано, що причиною падіння інтенсивності зношення в умовах реверсивного тертя є значні деформації атомної ґратки матриці зовнішньої композитної зони, які призводять до вивільнення під час тертя латентної енергії, накопиченої в процесі формування покриття, що ймовірно створює квазізріджений стан поверхневого шару на мезорівні та сприяє реалізації правила позитивного градієнту зсувних деформацій.

***Ключові слова:** реверсивне тертя, хіміко-термічна обробка, трибосистема, інтенсивність зношування, шорсткість, дисипативні структури, дифузійний шар.*

Постановка проблеми. Проблема збереження ресурсів та електроенергії, зростання цін на енергоносії та матеріали змушує нас звертати погляд на удосконалення ресурсо- та енергозберігаючих технологій у машинобудівній галузі. Одним із таких шляхів є створення технологій зміцнення, які розширюють ресурс (строк служби) деталей, котрі працюють в умовах тертя, зокрема реверсивного, що особливо важливо для поліграфічного машинобудування. Реверсивне тертя часто через відсутність гідродинамічного мастильного клину провокує прискорене зношення через втомні, адгезійні та абразивні процеси.

Відсутність чіткої концепції зносостійкості дифузійних шарів, складність процесів, що протікають в трибосистемі, суттєва відмінність структурних та фазових особливостей дифузійних шарів не дають можливість докладно прогнозувати ресурс роботи пари тертя, в якій тіло і контртіло зміцнені різними технологіями. Трибоз'єднання, яке являє собою систему «тіло-мастило-контртіло» завжди є унікальною системою, яка веде себе особливо в умовах конкретних швидко-навантажувальних факторів. Саме тому для визначення його характеристик і подальшого прогнозування ресурсу потрібно проводити стендові дослідження на тертя.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для того щоб оцінити отримані результати стендових досліджень, потрібно брати до уваги не тільки числові дані цих досліджень, але й фактори, що впливали на умови роботи пари тертя і, таким чином, визначили наявний ресурс зносостійкості. Відомо [1], що матеріал,

наділений високою зносостійкістю в одних умовах, може активно руйнуватись в інших. До того ж стійкість матеріалу може сильно змінюватись, змінюючи лише один параметр в рамках однієї схеми випробувань.

У своїх дослідженнях зносостійкості робочих поверхонь Ф. Боуден і В. Тейбор встановили, що за ідентичних умов реверсивного та одностороннього тертя умови, в яких перебувають робочі поверхні суттєво відрізняються, і знакозмінність тертя відображається на зносостійкості деталей машин. Як зазначають автори, [2] «... відносно великий реверсивний рух деталей, характерний для з'єднань поліграфічних машин, досліджується надзвичайно рідко». Група дослідників Української академії друкарства здійснила значну роботу з дослідження власне пар тертя при різних режимах реверсивного руху [3, 4, 5, 6]. Показано, що для трибоз'єднань, які працюють при односторонньому терті, спокійний період роботи, що передуює катастрофічному зносові, в середньому вдвічі довший, ніж при роботі в реверсивному режимі [7].

Дослідження, які провів Євдокимов В. Д. дають підстави стверджувати, що при реверсивному терті проявляється ефект Баушингера, який характеризується пониженим опором матеріалів початковим пластичним деформаціям при повторному навантаженні зусиллям протилежного знаку. Встановлено також важливу особливість взаємного впливу реверсування та поверхнево активного середовища на властивості поверхневих шарів пари тертя, що проявляється в інтенсифікації реверсом ефекту Ребіндера.

Отож знакозмінне протікання зсувних деформацій при реверсивному терті інтенсивніше, ніж при односторонньому терті розхитування мікроструктури, збільшення числа дефектів, знеміцнення та втомні процеси призводять до небажаного для практики явища — підвищеного, порівняно з одностороннім тертям зносу, названого негативним ефектом реверсу [8]. Однією з причин цього явища є також неможливість утворення гідродинамічного мастильного клину при реверсі, що призводить до реалізації граничного тертя в трибоз'єднанні з подальшим перетворенням на сухе з відповідними негативними наслідками.

Мета статті — спроба інтерпретації феноменів, які проявилися у процесі приробки пари тертя, де втулка зміцнена за допомогою комплексної зміцнювальної обробки, а валик (контртіло) — шляхом дифузійного борування. Дослідження проводили на багатопозиційному стенді ИС-12 реверсивного руху за схемою «валик-втулка». Розміри досліджуваних пар тертя: борований валик (контртіло) $\varnothing 20$ мм, $l = 30$ мм; втулка $\varnothing 23/20$ мм, $l = 20$ мм. Діаметральний зазор становив 100 мкм. Умови випробувань: середній тиск $p = P / ld = 5$ МПа, частота коливань $n = 2,75$ с⁻¹, кут реверса $\gamma = 65^\circ$. Через кожні $5 \cdot 10^4$ циклів зразки промивали, валик і втулку зважували і подавали нову порцію мастильного матеріалу ЦИАТИМ-201. База випробувань — $9 \cdot 10^6$ циклів. Вихідна шорсткість контактуючих поверхонь валика і втулки становила $R_a \leq 1,25$.

Виклад основного матеріалу дослідження. Комплексний метод полягає у дифузійному хромуванні з попереднім нікелькобальтфосфорним хімічним покриттям зразків, виготовлених із середньовуглецевої сталі 45 [9]. У результаті

отримано дифузійний шар чіткої будови (рис. 1), а саме: композиційна зона 1, яка складається з колоній стовпчастих зерен карбідів хрому Cr_7C_3 та $Cr_{23}C_6$ в матриці твердого розчину хрому в α -залізі товщиною до 70 мкм; зона 2 твердого розчину хрому в α -залізі товщиною до 25 мкм; евтектоїдна зона 3 товщиною до 15 мкм, знеуглецьована зона 4 товщиною до 160 мкм і далі осердя. Після вимірювань мікротвердості інтегральна мікротвердість композиційної зони за шкалою Віккерса становила близько 12 ГПа. Мікротвердість борваного контртіла становила близько 18 ГПа.

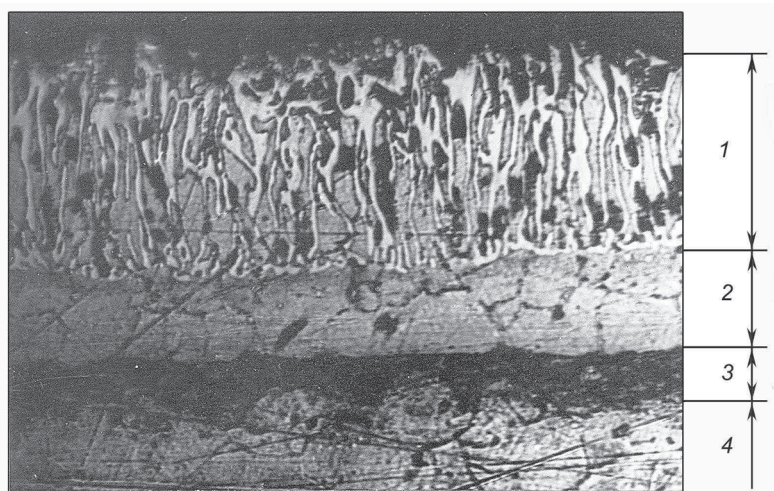


Рис. 1. Мікроструктура дифузійного шару, отриманого на сталі 45 методом комбінованої обробки, 600 \times

У результаті дуже активних процесів структуроутворення у дифузійному шарі фізична поверхня зазнала горбкування (рис. 2, а) з подальшим формуванням на цій поверхні зовнішньої суцільної карбідної колонії (рис. 2, б). Це призвело до формування розвинутої поверхні із шорсткістю $R_a = 4\text{--}5$ мкм. Така висока шорсткість в період приробки вузла тертя буде причиною активного абразивного зношення поверхонь пари тертя і призведе до збільшення діаметрального зазору в ній.

Тому виявилось доцільним введення ще однієї технологічної операції, а саме — поверхнево пластичної деформації через розкочування внутрішніх отворів дослідних зразків з метою пониження абсолютних значень показників R_a та створення сприятливого напружено-деформаційного стану в зонах дискретного контакту, щоби контактне навантаження розподілялося рівномірніше.

Згідно з класичними уявленнями [10], процес приробки, який відповідає зменшенню коефіцієнта тертя, полягає в зрізанні або втомному руйнуванні найбільших нерівностей поверхонь та виході на стаціонарне значення шорсткості («рівноважна шорсткість»). На початку періоду приробки (до 50 тис. ц.) відбувався пришвидшений знос перенагартованих внаслідок ППД вершин горбів отриманого покриття.

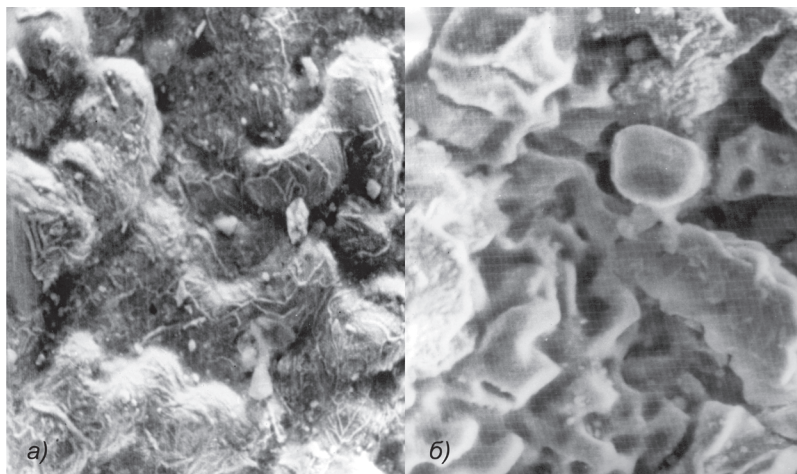


Рис. 2. а) Фізична поверхня покриття зазнала горбкування внаслідок інтенсивних процесів структуроутворення, 600 \times ; б) Суцільна колонія карбідів хрому, яка сформувалась на горбистій поверхні, 1350 \times

Інтенсивність зношення отриманого покриття під час приробки становить в середньому $(1-4) \times 10^{-10}$, що означає пружно-пластичний вид контактної взаємодії поверхонь тертя. Момент закінчення приробки відповідає переходу в пружну область контактування мікронерівностей, під час якої інтенсивність зношення є в межах $10^{-10} \dots 10^{-11}$. У нашому випадку такий режим контактування спостерігаємо, починаючи від періоду 500–600 тис. ц., що може означити як початок періоду усталеного зношення.

Під час обрахунку інтенсивності зношення пари тертя, яке здійснювали за числовими даними вагового зносу (зразки зважувались під час запланованої заміни мастила кожних $5 \cdot 10^4$ циклів), звернули на себе увагу сталі випадки відсутності вагового зносу в системі «тіло-контртіло», які набули неперіодичного характеру. Як наслідок, інтенсивність зношення отриманого покриття (так і контртіла) іноді дорівнює нулю. На графіках (рис. 3, а–г) це зображено розривами кривих функції. У багатьох випадках спостерігається приріст маси зразка, що теж означає відсутність інтенсивності зношення.

У випадку деякого падіння інтенсивності зношення дифузійного шару досліджуваного зразка при одночасному зростанні інтенсивності зношення контртіла (або відсутності значної зміни її) можна припустити, що відсутність вагового зносу досліджуваного зразка чи навіть його приріст пояснюється застряганням у пластичній матриці композитної зони твердих продуктів зносу (як контртіла, так і власних).

Однак простежується сталий феномен падіння (зникнення) інтенсивності зношення як для тіла, так і для контртіла одночасно, так і для кожного з елементів пари тертя зокрема.

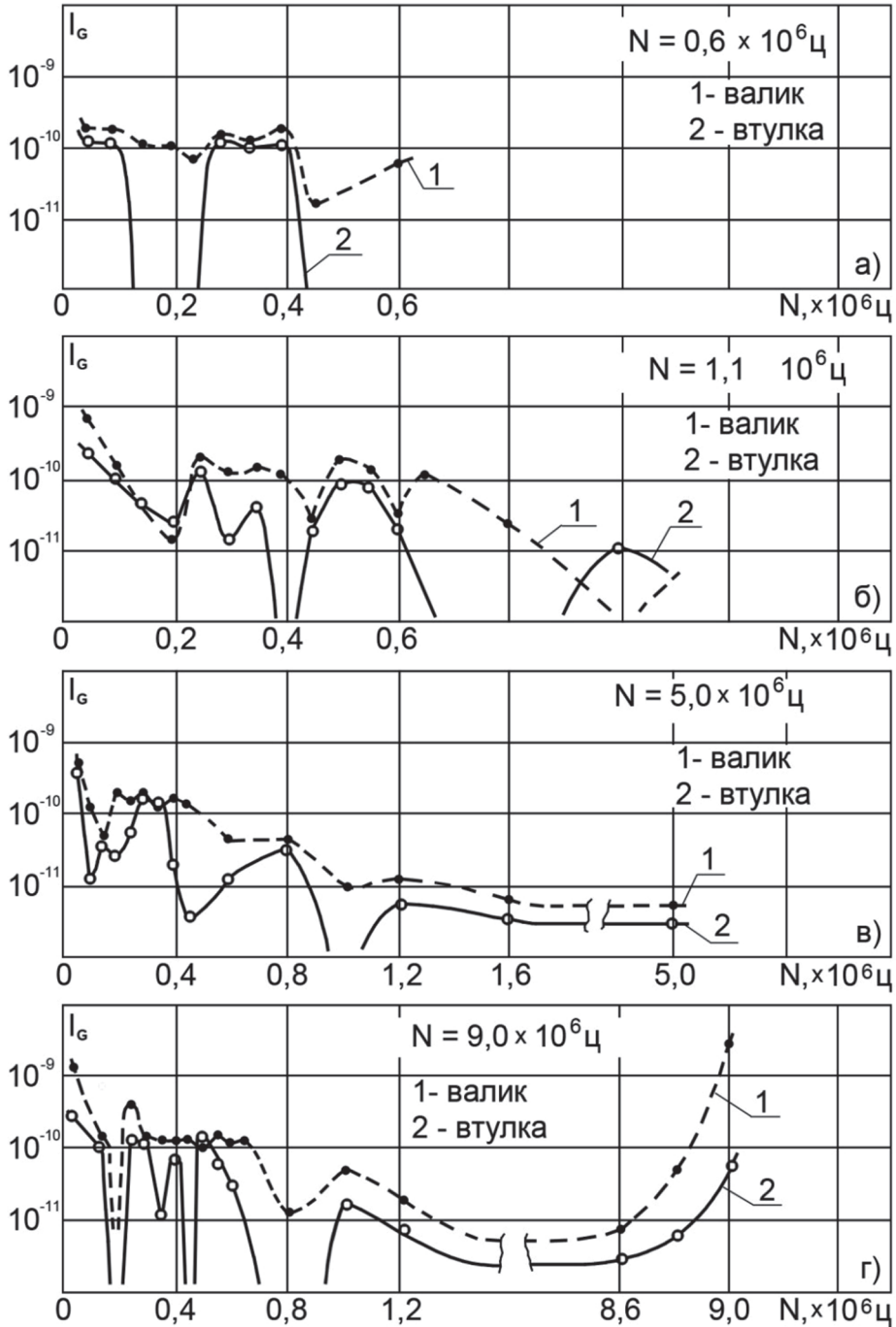


Рис. 3. Інтенсивність зношення пари тертя (валик-втула) залежно від циклів-хитань:
 а) 0,6 млн ц.; б) 1,1 млн ц.; в) 5,0 млн ц.; г) 9,0 млн ц.

Пояснення цих феноменів може бути проявом, так званого, ефекту структурної пристосовуваності (ЕСП), який полягає в реалізації процесів самоорганізації в трибосистемі. Як вказує Н. В. Ципін [11], у сучасній трибології дедалі ширше розглядаються процеси самоорганізації матеріалу в поверхневих шарах при терті на основі енергетичних принципів, що призводять до формування при терті особливих дисипативних структур, здатних перетворювати зовнішню механічну енергію у внутрішню енергію деформуючих процесів, які не призводять до руйнування та мінімізують енергетичні втрати при трибозасмодії. Серед багатьох макропроявів кооперативних процесів самоорганізації в трибосистемах наявні такі як, ефект зменшення інтенсивності зношення з підвищенням температури, існування «підшипникової» структури між елементами пари тертя під час приробки тощо.

Як вказує Циванюк К. В. [12], сильна неврівноваженість матеріалу в умовах зовнішніх впливів може супроводжуватись переходом у збуджений стан, який є ще однією ознакою ЕСП. Збуджений стан характеризується своєрідним «зріджуванням» поверхневих шарів на мезорівні (0,1 ... 1,5 мкм) і у такий спосіб сприяє реалізації правила позитивного градієнту зсувних деформацій.

У нашому випадку неврівноваженість покриття може бути наслідком інтенсивних процесів структуроутворення композитної зони, що призводить до значного викривлення кристалічної ґратки матриці і, відповідно, накопичення латентної енергії, яка в жорстких умовах реверсивного тертя може вивільнитись в обмежених плямах контакту, реалізуючи ефект структурної пристосовуваності.

Причинами, що призводять до формування неврівноваженого метастабільного покриття в наших умовах є: початкові умови дифузії, ефект РМ-фази, швидкість формування карбідної фази.

Розглянемо цей пункт докладніше. Умови, в яких формувалася отримана композитна зона дають підстави вважати, що структура її буде неврівноваженою (метастабільною). Як вказує Дубінін Г. Н. [13], у багатьох випадках формування дифузійного шару не відповідає рівноважним умовам, а відбувається переривчасто і починається з утворення фази вищого або середнього складу. Структура дифузійного шару в цьому випадку не відповідає рівноважній. Утворення неврівноваженої структури дифузійного шару здійснюється при насиченні елементами чистих металів.

Серед різноманітних причин, які впливають на механізм формоутворення дифузійного шару з неврівноваженою структурою, одним з головних є початкові умови, що передують процесові дифузії елементау в метал, які прямо чи непрямо залежать від фізико-хімічних та кінетичних факторів насичення. На деяких з них, що безпосередньо торкаються нашої проблеми, зупинимось докладніше.

Фізико-хімічні фактори.

1. Характер насичуючого середовища (газове насичення в порошкових сумішах).

Насичення металів і сплавів елементами у висококонцентрованому активними атомами газовому середовищі сприяє утворенню дифузійного шару з неврівноваженою структурою.

2. Змочуваність насичуваного металу рідкою фазою, що містить в собі або адсорбує з газового середовища дифундуючий елемент (хімічне Ni-Co-F покриття плавиться за температури вище 750°C, що сприяє активній адсорбції хрому).

Кінетичні фактори.

1. Співвідношення між швидкістю надходження елемента на фізичну поверхню зразка та швидкістю його дифузії.

Відомо, що швидкість хімічних реакцій в газовому середовищі перевищує швидкість дифузії елемента в металі, що визначає не тільки вельми високі початкові концентрації елемента, що дифундує, а й пряме його осаджування на поверхні (з подальшою активною адсорбцією). Останнє сприяє утворенню неврівноваженого дифузійного шару.

2. Швидкість нагрівання до ізотерми процесу. В нашому випадку (лабораторна піч SNOL з швидким нагрівом) швидкість впливатиме на товщину композитної зони та потужність карбідної колонії в композитній зоні.

Наведені вище фактори насамперед впливатимуть на початкову концентрацію елементів, що дифундують. Чим вища концентрація цих елементів на поверхні металу, тим більша ймовірність відхилення умов формування дифузійного шару від рівноважних. Надзвичайна інтенсивність процесу насичення та значне пониження температури початку дифузії, зумовлені ефектом рідкометалевої фази, сприяють утворенню композитної зони, яка має неврівноважену (метастабільну) структуру.

Ще однією з причин нестійкості є досягнення в матриці α -твердого розчину густиною дислокацій критичного значення $\rho \geq \rho_{кр} \approx (0,5 \dots 5) \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ [14]. Проведені дослідження на виявлення густини дислокацій на поверхні отриманого покриття в м'якій складовій (α -залізі) показали, що рівень густини дислокацій становить $(3 \dots 21) \times 10^{15} \text{ м}^{-2}$, тобто значно перевищує критичний, причому такий високий рівень зафіксовано ще до початку випробовувань на тертя, що свідчить про ступінь деформації кристалічної ґратки фази матриці, про високий рівень мікронапруження і латентної енергії.

За розрахунками Владимирова В. І. [14] при товщині поверхневого шару, через який проходять великі потоки енергії до $h \approx 5 \text{ мкм}$, напрузі тертя $\sigma \approx 10 \text{ МПа}$ (в нас $\sigma \geq 5 \text{ МПа}$) та швидкості зміщення $V_{мер} \approx 0,1 \text{ м/с}$ (в нашому випадку швидкість аналогічна) питома потужність дисипації енергії буде становити близько $2 \times 10^{11} \text{ Дж/м}^3 \times \text{с}$.

Тобто енергія, що розсіюється в цьому шарі за секунду, перевищує енергію зв'язку атомів у шарі ($\sim 10^{11} \text{ Дж/м}^3$) (в нашому випадку дещо перевищує). Він робить висновок, що якби навіть невелика частина цієї енергії перейде в латентну, то метал може перейти у збуджений стан, чого можна сподіватись і у нашому випадку.

Говорячи про ефект структурної пристосовуваності, прояви цього явища можна віднести лише щодо м'якої матриці композиційної зони. Наявність гетерогенної структури цієї зони із нерівномірним розміщенням карбідних зерен значно утруднює «чисті» прояви цього явища і ускладнює загальну картину протікання як приробки, так і усталеного спрацювання.

Висновки.

1. Показано, що використовуючи спосіб комплексної зміцнювальної обробки, сформувався покриття із зовнішньою композитною зоною, якій властиві значні викривлення атомної ґратки матриці твердого розчину хрому в α -залізі.

2. Умови формування покриття та жорсткі умови реверсивного тертя призводять до реалізації ефекту структурної пристосовуваності, котрий проявляється в сталих випадках відсутності вагового зносу в системі «тіло-контртіло», які набули неперіодичного характеру.

3. Прослідковується сталий феномен падіння (зникнення) інтенсивності зношення як для тіла і контртіла одночасно, так і для кожного з елементів пари тертя зокрема.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боуден Ф. П., Тейбор Д. М. Трение и смазка твердых тел. Москва : Машиностроение, 1968. 544 с.
2. Стецьків О. П., Ющик В. И. Сравнительное экспериментальное исследование интенсивности износа подшипников скольжения при реверсивном движении цапф. Всесоюзное совещание по методам расчета механизмов машин-автоматов : тез. докл. 1979. С. 102–103.
3. Стецьків О. П., Ключас О. С., Ющик В. И. О новых возможностях при использовании подшипников скольжения в полиграфическом машиностроении. Поліграфія і видавнича справа. 1983. № 19. С. 60–65.
4. Стецьків О. П., Ключас О. С., Житомирский В. Н. изнашивание поверхностно упрочненных пар трения возвратно-поступательного движения в условиях граничной смазки. Трение и износ. 1989. № 1 (Т.10). С. 71–86.
5. Стецьків О. П., Ключас О. С. Особенности износа реверсивных пар трения, упрочненных методами химико-термической обработки. Трение и износ. 1984. № 1 (Т. 5). С. 173–177.
6. Стецьків О. П., Ключас О. С., Ющик В. И. О геометрии износа подшипников скольжения реверсивного движения и влияния зазоров на их износостойкость. Трение и износ. 1981. № 6 (Т. 2). С. 1044–1049.
7. Евдокимов В. Д. Реверсивность трения и качество машин. Техника. 1977. С. 147.
8. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Трение и износ. Москва : Машиностроение, 1968. 480 с.
9. Манько О. В., Стецьків О. П. Дифузионное хромирование стали с химическим покрытием. Металловедение и термическая обработка металлов. 1993. № 2. С. 15–18.
10. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва : Машиностроение, 1977. 526 с.
11. Цыпин Н. В. Развитие представлений об абразивном изнашивании грубогетерогенных материалов, исходя из совместимости пар трения. Трение и износ. 1993. № 1 (Т. 14). С. 63–72.
12. Циванюк К. В., Крупкин П. Л., Сорокин Т. К. Синергетическая теория эффекта структурной приспособляемости в трибосистемах. (Препринт № 36. ИМАШ АН СССР. 1990. С. 13).

13. Дубинин Г. Н. О механизме формирования диффузионного слоя. Защитные покрытия на металлах. 1976. № 10. С. 12–17.
14. Владимиров В. И. Проблемы физики трения и изнашивания. Физика износостойкости поверхности металлов. ЛФТИ. 1988. С. 8–41.

REFERENCES

1. Bouden F. P., & Teibor D. M. (1968). Trenie i smazka tverdykh tel. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
2. Stetckiv, O. P., & Iushchik, V. I. (1979). Sravnitelnoe eksperimentalnoe issledovanie intensivnosti iznosa podshipnikov skolzheniia pri reversivnom dvizhenii tcapf. Vsesoiuznoe soveshchanie po metodam rascheta mekhanizmov mashin-avtomatov, 102–103 (in Russian).
3. Stetckiv, O. P., Kliufas, O. S., & Iushchik, V. I. (1983). O novykh vozmozhnostiakh pri ispolzovanii podshipnikov skolzheniia v poligraficheskom mashinostroenii: Poligrafii i vidavnicha sprava, 19, 60–65 (in Russian).
4. Stetckiv, O. P., Kliufas, O. S., & Zhitomirskii, V. N. (1989). Iznashivanie poverkhnostno uprochnennykh par treniia vozvratno-postupatel'nogo dvizheniia v usloviakh granichnoi smazki: Trenie i iznos, 1 (T.10), 71–86 (in Russian).
5. Stetckiv, O. P., & Kliufas, O. S. (1984). Osobennosti iznosa reversivnykh par treniia, uprochnennykh metodami khimiko-termicheskoi obrabotki: Trenie i iznos, 1 (T. 5), 173–177 (in Russian).
6. Stetckiv, O. P., Kliufas, O. S., & Iushchik, V. I. (1981). O geometrii iznosa podshipnikov skolzheniia rev ersivnogo dvizheniia i vliianiia zazorov na ikh iznosostoikost: Trenie i iznos, 6 (T. 2), 1044–1049 (in Russian).
7. Evdokimov, V. D. (1977). Reversivnost treniia i kachestvo mashin: Tekhnika, 147 (in Russian).
8. Kragelskii I. V., & Dobychin M. N., Kombalov V. S. (1968). Trenie i iznos. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
9. Manko, O. V., & Stetckiv, O. P. (1993). Difuzionnoe khromirovanie stali s khimicheskim pokrytiem: Metallovedenie i termicheskaiia obrabotka metallov, 2, 15–18 (in Russian).
10. Kragelskii I. V., & Dobychin M. N., Kombalov V. S. (1977). Osnovy raschetov na trenie i iznos. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
11. Tcypin, N. V. (1993). Razvitie predstavlenii ob abrazivnom iznashivanii gruboeterogennykh materialov, iskhodia iz sovmestimosti par treniia: Trenie i iznos, 1 (T. 14), 63–72 (in Russian).
12. Tcivaniuk, K. V., Krupkin, P. L., & Sorokin, T. K. Sinergeticheskaiia teoriia efekta strukturnoi prispособlivaemosti v tribosistemakh. (Preprint № 36. IMASh AN SSSR. 1990. S. 13) (in Russian).
13. Dubinin, G. N. (1976). O mekhanizme formirovaniia diffuzionnogo sloia: Zashchitnye pokrytiia na metallakh, 10, 12–17 (in Russian).
14. Vladimirov, V. I. (1988). Problemy fiziki treniia i iznashivaniia: Fizika iznosostoikosti poverkhnosti metallov, LFTI, 8–41 (in Russian).

doi: 10.32403/1998-6912-2018-1-56-61-70

**MANIFESTATION OF THE STRUCTURAL ADAPTABILITY EFFECT
DURING THE TRIBOLOGICAL RESEARCH OF COATING OBTAINED BY
THE METHOD OF COMPLEX STRENGTHENING TREATMENT**

O. V. Manko, O. O. Palamar, A. Ye. Stetsko

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79000, Ukraine
oleksiyanko@gmail.com*

In the article, the manifestations of the structural adaptability effect in the friction pair “roller-sleeve” have been considered, proceeding from the processes of formation of the structure of the strengthened coating and its tribological research. The purpose of the work is an attempt to interpret the phenomenon that has manifested itself in the running-in process of friction pair, when the sleeve is strengthened through a combined strengthening treatment, and the roller (counterbody) — by diffusion boronization.

When calculating the intensity of wearout of a friction pair, which has been carried out according to numerical data of weight wear, the attention has been attracted to the steady cases of the absence of weight wear in the “body – counterbody” system, which have acquired a non-periodical character. A constant phenomenon of falling (disappearance) of the intensity of wear can be traced simultaneously for both the body and counterbody, and for each element of the friction pair in particular. As a result, the intensity of the wearout of the resulting coating (and counterbody) is sometimes absent.

In the case of the received coating, we can state the presence of metastability of the matrix of the outer composite zone. The reasons that lead to the formation of the unbalanced state of the matrix are the initial conditions of diffusion, the effect of the liquid metal phase, the rate of formation of the carbide phase, which leads to a considerable distortion of the crystal lattice of the matrix and, accordingly, the accumulation of latent energy.

Strong unbalance of the matrix of the external composite coating zone under conditions of external influences (under rigid conditions of reversible friction in limited contact spots) may be accompanied by a transition to an excited state, which, along with the phenomenon of falling wearout intensity, is another sign of the effect of structural adaptability. The excited state is characterized by a peculiar “liquefaction” of the surface layers on the mesolevel (0.1...1.5 microns), and thus contributes to the implementation of the rule of positive gradient of shear deformations. Speaking about the influence of structural adaptability, manifestations of this phenomenon can be explained only by the properties of the soft matrix of the composition zone. The presence of a heterogeneous structure of this zone with uneven placement of carbide grains greatly impedes the “pure” manifestations of this phenomenon and complicates the overall pattern of passing as a running-in, as well as an fixed wearout.

Keywords: *reversible friction, chemical and thermal treatment, tribosystem, intensity of wear, roughness, dissipative structures, diffusion layer.*

Стаття надійшла до редакції 02.03.2018.

Received 02.03.2018.