

Т.Н. Гальчук, Т.Є. Божко
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗНОШУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі зроблено аналіз факторів, що впливають на зношування композиційних матеріалів. Дано характеристику параметрів міцності композиційних порошкових матеріалів. Из проведеного аналізу зроблено висновок, що всі основні експлуатаційні властивості спечених композицій триботехнічного призначення – міцність, твердість, коефіцієнт тертя, зносостійкість, температура в зоні тертя залежать від хімічного складу, мікроструктури та властивостей матеріалу, вибраного за основу.

Ключові слова: тертя, руйнування, структура, композиційний матеріал, поверхня.

Рис. 4. Літ. 17.

Т.Н. Гальчук, Т.Е. Божко
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗНОС КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе проанализированы факторы, влияющих на износ композиционных материалов. Дана характеристика параметров прочности композиционных порошковых материалов. Из проведенного анализа сделан вывод, что все основные эксплуатационные свойства спеченных композиций триботехнического назначения - прочность, твердость, коэффициент трения, износостойкость, температура в зоне трения зависят от химического состава, микроструктуры и свойств материала, выбранного за основу.

Ключевые слова: трения, разрушение, структура, композиционный материал, поверхность.

T. Galchuk, T. Bozhko
ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE WEAR OF COMPOSITE MATERIALS

In this work have been analyzed factors that influencing the the wear composite materials. Made by description of durability of parameters of composite powder materials. With of the analysis was concluded that all major operating properties of sintered compositions of tribotechnical function - strength, hardness, friction, wear, friction zone temperature depends on the chemical composition, microstructure and properties of a material selected basis.

Keywords: friction , destruction, structure, composite material, surface.

Постановка проблеми. На даний час розглядаються питання, пов'язані із процесом взаємодії поверхонь, що контактують в процесі їхнього взаємного переміщення. Вивченням проблеми тертя, зношування і змащення в машинах вивчає наука трибологія. Створення і підбір триботехнічних матеріалів базуються на вирішенні взаємопов'язаних задач на основі вивчення механіки тертя і фізико-хімічних явищ, що проходять на поверхні. В сучасному машинобудуванні для виготовлення пристроїв, що забезпечують рух з'єднань деталей, використовуються різні антифрикційні матеріали, серед яких поряд із литими є велика кількість спечених багатокомпонентних композицій. Саме високі характеристики міцності та зносостійкість матеріалів трибопари є одним із методів підвищення надійності вузлів тертя. Тому значна увага приділяється зовнішньому тертю – явищу опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь по дотичній до них [1]. Сила зовнішнього тертя – опір під час відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, тангенціально направленої до спільної границі між двома тілами [2].

Контакт взаємодії твердих тіл спостерігається лише в окремих зонах, розміри і густина розміщення яких залежать від величини прикладеного навантаження, а також від напружено-деформованого стану контактів. Ці контакти залежать від геометричної форми мікронерівностей і механічних властивостей поверхневого шару. Сумарна площа контактів мікронерівностей утворює фактичну площу дотику взаємодіючих тіл, яка впливає на виникнення високих напруг. Ковзання супроводжується інтенсивним деформуванням поверхневих шарів контактуючих тіл [3]. На ранній стадії досліджень зовнішнє тертя пояснювали механічним зачепленням між мікронерівностями спряжених поверхонь. В результаті поглибленого вивчення будови твердого тіла встановлено молекулярну взаємодію під час зовнішнього тертя. Найбільш повний опис процесу зовнішнього тертя пояснюють дві теорії тертя: молекулярно-механічна і адгезійно-деформаційна [4].

Мета роботи проведення ґрунтового аналізу факторів, що впливають на зношування композиційних матеріалів.

Основні результати роботи. Накопичені наукові дані в області трибології показують, що процес тертя охоплює фізичні, хімічні та механічні явища. Тому процес тертя можна представити

як три послідовних, взаємопов'язаних етапи, а саме: взаємодія поверхонь; зміна поверхневих шарів в результаті взаємодії; руйнування поверхонь внаслідок двох попередніх етапів.

Взаємодія поверхонь – найбільш важливий етап процесу тертя. Головним для його оцінки є уявлення про подвійну природу взаємодії та про локальний, дискретний характер контактування в плямах дотику [3]. Механізм зовнішнього тертя зводиться до відтиснення більш м'якого матеріалу вкоріненими нерівностями (деформаційні складові сили тертя) і подолання адгезійних зв'язків, що виникають у контактній зоні (адгезійна складова).

Процес деформаційного руйнування поверхні тертя аналогічний процесу деформації і руйнування металів, який протікає у вигляді таких стадій:

Перша стадія – пружно-пластична деформація. На цій стадії проходить подрібнення блоків в межах зерен. Механізм процесу дислокаційний, при цьому проходить накопичення дислокацій.

Друга стадія – в основному пластична, за участі деструкційної деформації не дислокаційної природи. Деструкційна деформація проявляється в поворотах і переміщеннях фрагментів, які складаються із більшої кількості блоків, і розвивається в усіх напружених об'ємах.

Третя стадія – локалізація деструкції в зоні руйнування, де з'являється перша тріщина, що призводить до руйнування матеріалу [5].

Крім деформаційного руйнування поверхневого шару існують інші явища, що супроводжують процес тертя. Зокрема окислення поверхні матеріалу, що обумовлює протікання найбільш розповсюдженого під час нормальної роботи вузла тертя окислювального зношування. Механізм окислювального зношування у випадку тертя матеріалів на залізній основі полягає в неперервному утворенні та руйнуванні шарів твердих розчинів кисню в залізі та шарів різного типу хімічних сполук кисню із залізом. Кисень із адсорбованого шару дифундує у поверхневі шари металу завдяки їх пластичному деформуванню, що призводить до збільшення густини точкових дефектів – вакансій, а також міжвузлових атомів, що обумовлює протікання в цьому шарі дифузії кисню, утворення твердого розчину кисню в залізі та оксидів різного хімічного складу (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) [7]. Процеси окислення значно ускладнюються, якщо композиційні матеріали є багатокомпонентними за складом. Встановлено, що у поверхневих плівках таких матеріалів присутні оксиди заліза і оксиди всіх інших металічних компонентів [7,8]. Плівки характеризувалися шаровою структурою і високою твердістю (до 11000 МПа). Оксиди кремнію, карбіді кремнію та бору, що входять до складу матеріалів, перешкоджають зриванню плівок.

Хімічний склад і структура поверхонь тертя визначаються не тільки оксидами металів. У разі стабільного процесу тертя двох контактуючих поверхонь виникає так званий робочий шар більш складного складу та структури. Цей шар утворюється за участі продуктів зношування всіх компонентів, що є в матеріалі, в результаті їх виносу на поверхню і розподілу на ній в процесі тертя. Робочий шар складається із проміжного шару і поверхневих шарів матеріалів, що мають змінені структуру та хімічний склад [9–11]. Поверхневий шар може складатися із м'яких структурних складових (ферит, графіт та ін.), які, деформуючись, витягуються в напрямку дії сил тертя і виходять на поверхню у вигляді плівки, в якій неможливо виділити окремі компоненти, що її утворюють. Такі тонкі поверхневі плівки утворюються в разі високих ступенів деформації. У поверхневому високодеформованому шарі, товщиною до 10 мкм з постійним рівнем напруження, часто спостерігаються фрагментовані структури. Процес нормального тертя і зношування без пошкоджень зумовлений збереженням цієї стабільної структури, здатної квазіпружно сприймати зміни навантаження [10].

Великий вплив на утворення та властивості робочого шару на поверхнях пари тертя мають дифузійні процеси. Вони протікають в найтонших шарах під впливом локально високих температур, тиску, деформацій, що виникають під час тертя. Реалізуються такі процеси з великими швидкостями і можуть призводити до суттєвих змін хімічного складу поверхневих шарів, перерозподілу елементів у них. Хімічний склад змінюється в результаті взаємодії матеріалу пари тертя із змащенням і повітрям або іншим навколишнім середовищем. Такий висновок зроблено у ряді спостережень щодо збільшення концентрації вуглецю, зменшення вмісту нікелю, переносу міді на поверхнях тертя та ін. [12, 13]. Проведені розрахунки коефіцієнтів дифузії показали, що вони є значно вищими в умовах тертя [14].

Тертя є динамічним процесом, при якому протікають різні фізико-хімічні явища, що супроводжуються утворенням так званих вторинних структур, властивості яких відрізняються від властивостей початкових матеріалів. Утворення вторинних структур можна уявити як процес аморфізації та механо-хімічного легування поверхневого шару. Цей процес включає такі явища: диспергування матеріалу поверхонь тертя, подрібнення дисперсоїду із частинками оксидів,

графіту та інших речовин, що входять до матеріалу у вигляді присадок. На певному етапі можливе спікання суміші із рекристалізацією структури на поверхнях пари тертя під дією високих локальних температур і тиску та перехід в новий стан із особливими характеристиками і структурою, аналогічною, в деякій мірі, дисперно-зміцнюючим матеріалам. Характер і властивості вторинних структур, що виникають безпосередньо в процесі роботи, мають вирішальний вплив на зносостійкість пари тертя [13]. Тому під час розробки матеріалів триботехнічного призначення, для забезпечення стабільності експлуатаційних властивостей, основну увагу приділяють збереженню структури і фазового складу в умовах тертя.

В результаті контактування можливе схоплювання твердих тіл під дією молекулярних сил. При цьому утворюються міцні металічні зв'язки в зонах безпосереднього дотикання контактуючих матеріалів [11]. Сучасні уявлення про схоплювання під час тертя пов'язують із дислокаційними процесами. Із адгезійною взаємодією та, зокрема, із схоплюванням пов'язане явище фрикційного переносу, який спостерігається в процесі тертя матеріалів різної природи (метал–полімер, метал–графіт) або в процесі тертя більш м'якого металу по більш твердому (мідь–сталь). У випадку тертя таких пар на поверхні твердого елемента формується плівка переносу із м'якого матеріалу (матеріалу із меншим когезійним зв'язком) і тертя проходить за схемою: „м'який матеріал – м'який матеріал”. У разі тертя зі змащенням може виникнути явище вибіркового переносу елементів. В цьому випадку активний компонент змащення хімічно реагує тільки із активними ділянками поверхні сплаву. У разі вибіркової адсорбції проходить вибіркоче розчинення легуючого компонента, на місці атомів якого виникають вакансії. В результаті на поверхні утворюється плівка, збагачена вакансіями. Під час її деформування вакансії рухаються назустріч дислокаціям і частково анігілюють з ними. Велика частина дислокацій виходить на поверхню, несучи із собою атоми, які на поверхні набувають вільні зв'язки і легко вступають у хімічні реакції, утворюючи захисний шар [15].

Переважає більшість сучасних антифрикційних матеріалів – композиційні, тобто складаються із декількох компонентів, різних за хімічним складом функціями, що виконують. Композиційні матеріали відрізняються за властивостями від компонентів, що їх складають [16]. Ці матеріали характеризуються високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя при гранично допустимому навантаженні, температурі та швидкості ковзання. Прийнято вважати, що коефіцієнт тертя для антифрикційних матеріалів складає 0,001– 0,05 для роботи зі змащенням та 0,004 – 0,5 для роботи без змащення. Основу триботехнічного антифрикційного композиту, що сприяє формуванню певних фізико-механічних властивостей, складає базовий матеріал – залізо, мідь, нікель, алюміній і т.д. [16]. До складу композиту входять також компоненти, що регулюють величину адгезійних зв'язків – графіт, сульфід молібдену, міді, цинку, заліза, нітриди бору і компоненти, що регулюють величину механічної взаємодії – антизадирні домішки [16].

Спечені матеріали на основі заліза отримують методами порошкової металургії. Технологічна схема отримання виробів включає основні операції (рис.1):

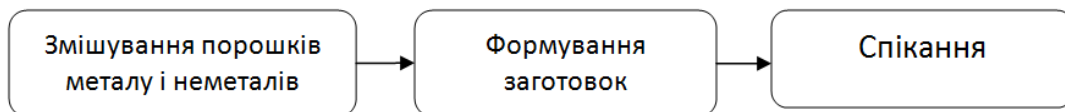


Рис.1. Технологічна схема отримання спечених композиційних виробів

Також для антифрикційних матеріалів можливе додаткове просочення виробу маслом, суспензією твердої змазки або рідким металевим розплавом. Як заключна операція – механічна обробка та контроль готових виробів [16,17]. Принцип конструювання триботехнічних композитів може базуватися на таких можливих класифікаціях. Складові компоненти умовно поділяють на три групи: компоненти, що утворюють основу матеріалу і що сприяють формуванню певних фізико-механічних властивостей – це залізо, мідь, нікель тощо; компоненти, що регулюють величину адгезійних зв'язків, зменшуючи схоплювання і заїдання – графіт, сульфід молібдену, міді, цинку, заліза тощо; компоненти, що регулюють величину механічної взаємодії – антизадирні добавки.

В останні десятиліття переважно розробляються порошкові матеріали на залізній та мідній основі. Матеріали на залізній основі використовують при підвищеному та нормальному навантаженні. А на мідній основі працюють в корозійноактивному середовищі. Перевага надається спеченим композитам на основі заліза, оскільки вироби із них мають хороші фізико-

механічні властивості, а сировина є недефіцитною. В якості основи використовують відновлені порошки заліза, або порошки легованих сталей, отриманих із відходів металообробки [20]. Введення міді до складу композиту значно підвищує міцність залізної матриці, має позитивний вплив на спікання, збільшує теплопровідність, підвищує мікротвердість матеріалу, покращує структуру і механічні властивості. До складу композиту триботехнічного призначення на основі заліза входить також графіт, що є твердою змазкою (у нерозчиненому вигляді) і збільшує міцність металевої основи (під час розчинення). Вміст графіту в композиті встановлюється експериментально, в залежності від коефіцієнта тертя і зносостійкості (рис. 2-4).

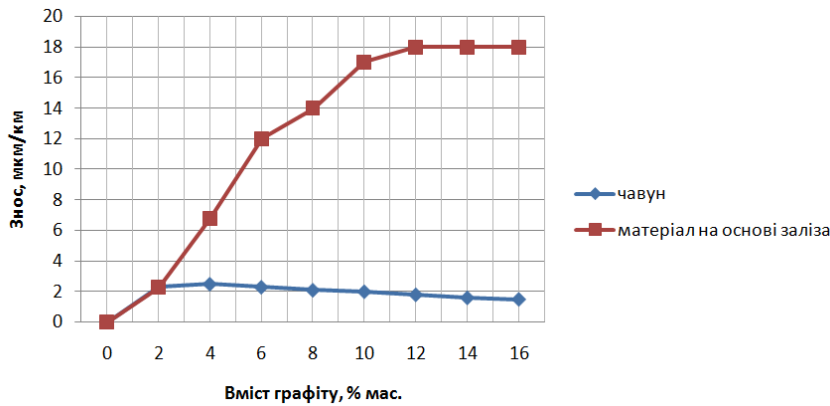


Рис. 2. Залежність зносу елементів пари тертя від вмісту графіту у спеченому матеріалі

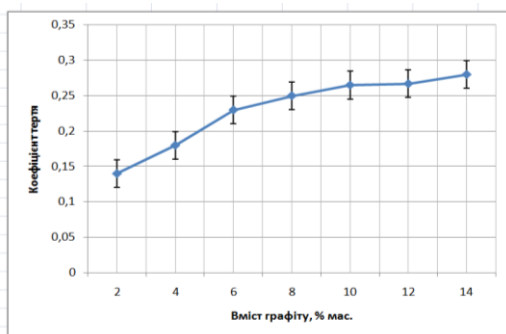


Рис. 3. Залежність коефіцієнту тертя від вмісту графіту в матеріалі на основі заліза

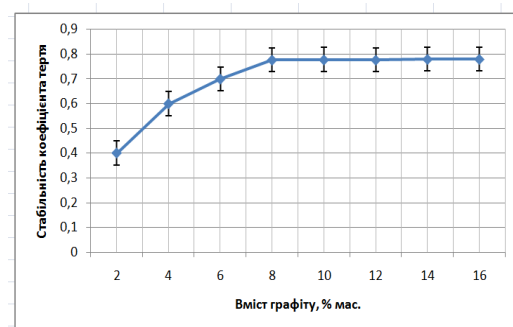


Рис. 4. Залежність стабільності коефіцієнту тертя від вмісту графіту в матеріалі на основі заліза

Серед факторів, що впливають на зношування композиційних матеріалів вагомий вплив мають параметри, які визначають їх міцність. Оскільки спечені триботехнічні матеріали на основі заліза є пористими тому кількість пор впливає на міцність композитів. Так, якщо в матеріалі підвищена пористість, то це знижує його твердість та механічну міцність. За наявності домішок у великих концентраціях або при великій пористості зв'язок між частинками матеріалу значно послаблюється і спричиняє підвищене зношування. Гранулометричний склад має неоднозначний вплив на міцність спеченого матеріалу, структуру та експлуатаційні властивості. Оскільки для початкових порошків залежить від технології виготовлення, конкретного складу матеріалу, умов його роботи. Загальні закономірності впливу величини частинок порошку на властивості пористої заготовки такі:

1. Збільшення розміру частинок порошку визначає формування грубої, крупнозернистої структури з порами великих розмірів і неправильної форми.
2. Чим більший розмір початкових частинок порошку, тим більший розмір зерен, що утворюються.
3. Розміри частинок початкового порошку впливають на міцність спресованих зразків. Перехід від крупних фракцій до більш дрібних супроводжується зменшенням пористості після пресування.

На триботехнічні властивості впливає збільшення розмірів частинок порошку і пористості матеріалу, оскільки призводить до погіршення припрацювання. Низька міцність міжчасткових контактів спричиняє руйнування металу на поверхні тертя, викришування частинок, збільшує зношування [15]. На даний час не встановлена чітка кореляція між триботехнічними властивостями матеріалу і його гранулометричним складом внаслідок впливу інших факторів, особливо в багатофазних композиціях.

Висновки. Викладені уявлення про подвійну природу тертя твердих тіл і про процеси, що його супроводжують, дозволяють назвати основні фактори впливу на зносостійкість матеріалів. Це хороший тепловідвід, сумісність матеріалів, що складають пару тертя, еволюція структури і властивостей, здатність зберігати пружний контакт, наявність градієнта зсувного опору, наявність або відсутність вторинних структур, що формуються під час тертя, параметри характеристики міцності матеріалів.

Із зробленого аналізу видно, що всі основні експлуатаційні властивості спечених композицій триботехнічного призначення – міцність, твердість, коефіцієнт тертя, зносостійкість, температура в зоні тертя залежать від хімічного складу і мікроструктури, властивостей матеріалу, вибраного за основу. Підвищити вказані характеристики залізо–графітових матеріалів можливо замінивши залізну основу на сталеву. В результаті підвищується міцність металічної основи та механічні характеристики; зменшується (або повністю усувається) схоплювання, абразивне зношування, швидкість накопичення дефектів структури. Легування сприяє зменшенню окислення матеріалу при високих температурах. Спечені вироби із легованих сталей можна зміцнювати термічною обробкою. Легування заліза або заміна його порошковою сталлю збільшують вартість композиційного матеріалу. Тому перспективною є розробка композитів на базі порошків конструкційних та інструментальних сталей, отриманих із відходів металообробки.

Література:

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Гаркунов Д.Н. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / [Зозуля В.Д., Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Браун Э.Д.] – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наукова думка, 1990. – 264 с.
3. Трибология: Исследования и приложения: Опыт стран США и СНГ / [ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина]. – М.: Машиностроение, 1993. – 454 с.
4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / [А. В. Чичнадзе, Э.М. Берлимер, Э.Д. Браун и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
5. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность металлов при трении / Б.И. Костецкий, Н.Г. Носовский, А.К. Караулов – К.: Техника, 1976. – 292с.
6. Германчук Ф.К. Долговечность и эффективность тормозных устройств / Германчук Ф.К. – М.: Машиностроение, 1973. – 233 с.
7. Германчук Ф.К. Исследование свойств спеченных фрикционных материалов при воздействии внешних сред / Ф. К. Германчук, В. Ф. Скрипка, И. Е. Пятницкий, И.Т. Чехаровский // Порошковая металлургия. – 1977. – №1. – С. 62 – 65.
8. Рыбакова Л.М. Структура поверхностных слоев металла при трении / Л.М. Рыбакова, Л.И. Куксенова // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1983. – № 8. – С.25 – 29.
9. Рапорт Л.С. Влияние структурного состояния поверхностных слоев на процессы трения и изнашивания / Л.С. Рапорт, Л.М. Рыбакова // Трение и износ. – 1987. – Т.8, № 5. – С. 888 – 894.
10. Куксенова Л.И. Применение рентгеноструктурного метода для послойной оценки качества тонких поверхностных слоев при трении в активных смазочных средах / Л.И. Куксенова, Л.М. Рыбакова // Заводская лаборатория. – 1995. – №11. – С. 34 – 42.
11. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Бакли Д. – М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.
12. Федорченко И.М. Достижения в области создания спеченных композиционных антифрикционных материалов на основе металлических порошков / И.М.Федорченко // Трение и износ. – 1982. – Т.3, № 3. – С. 412–420.
13. Марковский Е.А. Изменение химического состава поверхностных слоев сплавов, деформированных трением // Проблемы трения и изнашивания / Е.А. Марковский, Б.А. Кириевский. – К.: Техника, 1974. – Выпуск 6. – С.105– 112.
14. Анциферов В.А. Порошковая сталь со структурой метастабильного аустенита / В.А. Анциферов, Н.Н.Масленников, А.А. Шацов, Т.В. Слишляева // Порошковая металлургия. – 1994. – № 3 – 4. – С. 42–47.
15. Федорченко И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. – К.: Наукова думка, 1980. – 404 с.
16. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы: справочник / [под ред. В.Шатта]. – М.: Металлургия, 1983. – 520 с.
17. Гальчук Т.Н., Рудь В.Д. Використання відходів машинобудівного виробництва для виготовлення деталей триботехнічного призначення: Монографія. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. – 214 с.

Стаття надійшла до редакції 5.05.2017