

УДК 621.793.620.172

DOI: 10.18372/0370-2197.1(98).17356

В. Б. ШАМРАЙ¹, О. О. МІКОСЯНЧИК¹, Л. А. ЛОПАТА², Г. Г. ГОЛЕМБІЄВСЬКИЙ¹,
Є. С. ГОРБ¹

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренко Національної академії наук
України, Україна

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Проведено аналіз сумісності матриці та наповнювачів в якості складових компонентів для зносостійких композиційних матеріалів. Обґрунтовано, що для підвищення зносостійкості робочих органів і деталей сільськогосподарської техніки доцільно використовувати композиційні кераміко-металічні матеріали. Проаналізовано ефективність застосування композиційних матеріалів з дисперсними частинками тугоплавких фаз, феросплавами, самофлюсуючих сплавів на основі нікелю і заліза для зміцнення деталей сільськогосподарської техніки, що працюють в умовах домінування абразивного та корозійно-механічного зношування. Визначено роль дисперсних частинок та матриці в зносостійких композиційних покриттях та наведені критерії сумісності при виборі компонентів композиційних матеріалів.

Ключові слова: композиційні покриття, деталі сільськогосподарської техніки, матриця, наповнювач, зносостійкість.

Вступ. Для підвищення довговічності робочих органів (РО) і деталей сільськогосподарських машин (СГМ), які працюють переважно в умовах домінування абразивного та корозійно-механічного зношування, доцільно використовувати зносостійкі матеріали. У окремий клас зносостійких матеріалів виділяють композиційні матеріали (КМ) – об'ємне штучне поєднання різнорідних за формою і властивостями двох або більше матеріалів із чіткою межею розділу між ними. Перевагами КМ є висока міцність, жорсткість і зносостійкість [1]. Багаточисельні дослідження показали і довели [2], що нанесення покриттів із КМ є найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості робочих органів і деталей СГМ.

Призначення зносостійкого покриття – захист робочих поверхонь деталей і робочих органів СГМ від певного експлуатаційного впливу: зношування, корозії, температурного окислення та ін. Під словом “покриття” розуміють таке утворення на поверхні виробу, яке суттєво відрізняється за своїми кристало-хімічними, фізико-механічними властивостями від відповідних властивостей основи, значно покращує його функціональні характеристики.

Розвиток процесів нанесення покриття обґрунтовується тим, що до поверхні та основи деталей та робочих органів СГМ пред'являють різні вимоги, які виключають одна одну. Так, наприклад, високі вимоги до твердості поверхневого шару не завжди можуть бути пред'явлені до всього об'єму деталі, так як твердим з'єднанням в покритті притаманна крихкість. Задовольнити такі протиріччя до поверхневих і об'ємних характеристик РО і деталей СГМ можна шляхом створення композицій з пошаровим розміщенням матеріалів, які виконують певні функції, зокрема, шляхом нанесення багатофункціональних покриттів. При цьому

до останніх повинні пред'являтися наступні основні вимоги: близький до матеріалу основи коефіцієнт термічного розширення; відсутність несприятливого впливу на властивості основи; дифузійна інертність до основи; достатня адгезія; комплекс необхідних експлуатаційних характеристик; економічна доцільність.

Таким чином, застосування зносостійких матеріалів і розробка технологічних процесів їх нанесення – актуальний напрямок підвищення зносостійкості робочих органів СГМ і триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарської техніки [3-4].

Метою роботи є аналіз сумісності матриці та наповнювачів в якості складових компонентів для зносостійких композиційних матеріалів.

Структура порошкових композиційних матеріалів. Опір абразивному та корозійно-механічному зношуванню багато в чому залежить від природи і кількості твердих зносостійких складових в структурі покриття. В сучасному машинобудуванні використовуються два принципово різних методи регулювання вмісту твердих складових в структурі покриття [5, 6]: зміна хімічного складу твердого сплаву; введення в шихту важкорозчинних наповнювачів, які утворюють в результаті взаємодії з матрицею композиційні матеріали. Для нанесення зносостійких покриттів використовують композиційні матеріали у вигляді порошоків, дроту, прутків, електродів. Композиційні матеріали, отримані методом порошкової металургії, забезпечують вирішення багатьох технічних завдань, де потрібні матеріали з високою стійкістю до абразивного зносу. Наприклад, композиційне покриття с гранітним гравійним порошком HSS Weartec (2.8 C; 0.8 Si; 0.7 Mn; 7.0 Cr; 2.3 Mo; 8.9 V), що складається з дрібних частинок карбиду, впроваджених у відносно м'яку матрицю Cr-Mo-V, мають високу зносостійкість (приблизно в 2,3 рази вище, ніж у еталонної сталі 45) [7]. Фактична поведінка матеріалу при зносі пов'язана з багатьма зовнішніми факторами (розмір абразивних частинок, швидкість та ін.) і внутрішніми властивостями матеріалу (твердість, ударна в'язкість, модуль Юнга і т. д.). Властивості твердості та ударної в'язкості зносостійких матеріалів сильно залежать від вмісту армуючої фази, її розміру та механічних властивостей [8].

Композиційні порошки є інтегрованими комплексами вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса) в кожній порошковій частинці. Класифікувати композиційні порошки можна за типом, будовою частинок, характером поведінки компонентів при нанесенні покриття, за методами одержання та призначення. За типом будови розрізняють плаковані (рис. 1, *a*) і конгломератні частинки (рис. 1, *б*). Плакована частинка (ядро) є початковою частинкою одного з матеріалів, на поверхні якої розташований один або декілька шарів інших матеріалів. Частинка композиційного порошку конгломератного типу сформована з безлічі початкових частинок декількох матеріалів. В гетеродисперсних конгломератних частинках між дисперсністю компонентів існує велика різниця: частинки одного з компонентів служать основою (ядром). На її поверхні розташовані частинки решти компонентів (рис 1, *в*). В цьому випадку відношення діаметру частинок основи до діаметру частинок решти компонентів зазвичай складає 10 : 20 і більше. Гомодисперсні конгломератні частинки формуються з різних вихідних компонентів із частинками, близькими за розміром – співвідношення діаметрів 1 : 3 (рис. 1, *б*). Комбінація цих основних типів дозволяє одержувати структури змішаного типу (рис. 1, *г*, *д*, *е*).

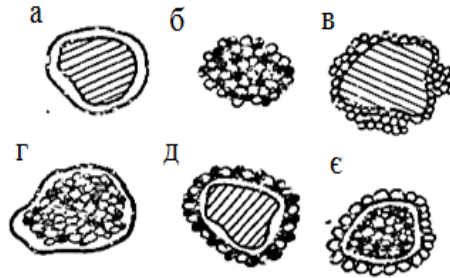


Рис. 1. Схема будови композиційних порошків

При формуванні та спіканні композиційні порошки діляться на ті, що реагують при нагріванні, і термонейтральні. У першому випадку отримання покриття можна поєднати із синтезом нових речовин, і його склад різко відрізняється від вихідного складу частинок. У другому випадку суттєвої зміни складу в процесі нанесення покриття не відбувається. В роботі [9] запропонована технологія виготовлення високоміцних та зносостійких титанових матричних композитів, армованих *in situ* TiC, отриманим в результаті піролізу полісілазана з використанням нового методу порошкової металургії, що поєднує вологе змішування за допомогою розчину та спікання без тиску.

Роль дисперсних частинок та матриці в зносостійких композиційних покриттях. Для нанесення зносостійких покриттів доцільне використання КМ систем: метал (сплав) – тугоплавке з'єднання металоїду: Cr-WC, Ni-WC, Ni-Cr₃-C; (Ni-Cr-B-Si)-WC та ін.; метал (сплав) - оксид; Ni-Al₂O₃; Mo-Al₂O₃ та ін. Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу та поєднується з сильними ударами, застосовуються КМ, що містять підвищений вміст нікелю [10]. Основні марки таких КМ представлені в табл. 1. В якості матеріалу для нанесення зносостійких композиційних покриттів доцільно використовувати КМ, наповнювачами в яких служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів і карбідів), основною функцією яких є зміцнення композиційних покриттів.

При підвищенні зносостійкості РО і деталей сільськогосподарської техніки доцільно використовувати композиційні кераміко-металічні матеріали - керамічні наповнювачі зміцнюють металеву матрицю [11]. Вибір КМ на металевій основі обґрунтований високими значеннями характеристик міцності, модуля пружності і їх збереженням до температур плавлення основного металу.

Композиційні матеріали, що застосовуються для отримання зносостійких покриттів, вміщують в своєму складі, як правило, три складові компоненти: матриця, наповнювачі і додаткові. Розглянемо роль кожного компонента.

Об'єднуючи в одне ціле всі компоненти КМ, матриця забезпечує несучу здатність композиту і захищає наповнювач від механічних ушкоджень і окислення, додає покриттю монолітність, пов'язує його з основою деталі, дозволяє сприймати різні зовнішні навантаження. Тип матриці визначає технологію отримання композиційного покриття, його термічну і корозійну стійкість, електричні і теплозахисні властивості, старіння і інші найважливіші характеристики покриття і деталі в цілому [12]. Металева матриця легко деформується під дією навантаження, забезпечуючи спільну роботу армуючих елементів, рівномірно розподіляє напруження. Матеріал матриці складає більшу

частину КМ. В якості матеріалу матриці для зносостійких покриттів використовуються залізо, нікель, мідь, наплавочні сплави [13].

Таблиця 1

Композиційні матеріали для зносостійких покриттів

Матеріал	Марка	Склад по масі %
Нікель-карбід вольфраму	ВНП-15, ВНП-20 ПКВН-20, ПКВН-30, ПКВН-40, ПКВН-50	Ni - 15...20 Ni - 20...50
Нікелевий сплав - карбід вольфрама - алюміній	ПТ-19, НВК-01	W - 16...20 AL - 8
Нікель - окисел алюмінію	ПОАН-70, ПОАН-50, ПОАН-30	Ni - 70...30
Нікель - карбід хрому і карбід титану	ПКХТН-40, ПКХТН-30, ПКХТН-20	Ni - 40...20
Нікель - карбід титану	КТНП-35	Ni - 35
Нікель - карбід хрому	КХНП-20, КХНП-25 КХНП-30, КХН-15, КХН-30	Ni - 20...30 Ni - 15...30
Нікель – алюміній - карбід вольфраму	НАКВ-20, НАКВ-2, НАКВ-30	WC - 70...80
Нікель – алюміній - карбід	НАКТ-20, НАКТ-2S, НАКТ-30	TiC -
Нікель – алюміній - карбід хрому	НАКХ-20, НАКХ-25, НАКХ-30	Cr ₃ C ₂ - 70...80

Для зміцнення робочих органів і деталей СГМ, які підлягають абразивному зносу, в якості матриці КМ використовуються сплави ПГ-С1, ПГ-27. Сплави ПГ-27 та ПГ-С1 містять від 25 до 40 % хрому, 3-5 % нікелю, що забезпечує їм твердість до 55 HRC. Найбільш поширене застосування для формування зносостійких композиційних покриттів отримали самофлюсуючі сплави на основі нікелю і заліза [14]. Самофлюсуючі сплави (СФС) - багатокомпонентна гетерогенна система на основі Ni, Co, Fe, що містить м'яку матрицю і тверді дисперсні включення карбідів, боридів, силіцидів. Найширше застосовуються СФС системи Ni-Cr-B-Si-C. Для підвищення зносостійкості, твердості і інших властивостей робочих органів і деталей СГМ доцільно використовувати СФС на основі заліза. Аналіз літератури [15-17] дозволив вибрати СФС ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4 на нікелевій основі і ПГ-С1 на залізній основі, що володіють високим комплексом експлуатаційних характеристик (зносостійкістю, теплостійкістю, корозійною стійкістю), як еталони для розробки композиційних покриттів.

Матеріал наповнювача забезпечує необхідні функціональні властивості, такі як опір абразивному зношуванню, здатність утворювати антизадири розділювальні плівки і т.д. Основна функція наповнювача, їх часто називають зміцнювачами, – забезпечення міцності і жорсткості КМ. В кераміко-металічних КМ відповідно до геометрії армуючих частинок (наповнювача) використовуються керамічні наповнювачі у вигляді дисперсних частинок.

Армування дисперсними частинками дозволяє створити кераміко-металічні КМ з підвищеною міцністю. У дисперсно-зміцнених КМ на металевій основі наповнювачами служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів, нитридів і карбідів. В останній час для зміцнення робочих органів і деталей СГМ, що працюють і умовах абразивного зносу, знаходять застосування феросплави [18].

Феросплави можуть використовуватись як в чистому вигляді, так і у вигляді легуючих добавок до відомих матеріалів (ПГ-С1 та ін.), що виступають в ролі матриці. Широке використання феросплавів в зміцнюючій технології пояснюється їх відносно невисокою вартістю, доступністю і ефективним підвищенням фізико-механічних властивостей сформованих шарів. Легуюча здатність феросплавів продиктована високим вмістом в їх складі таких елементів як хром, титан, бор, марганець, молібден, ванадій, вольфрам та ін. При зміцненні робочих органів СГМ доцільно використовувати КМ, які включають зносостійкі наповнювачі, наприклад, карбід хрому. Доцільно в якості матеріалів для створення композиційних покриттів застосовували такий склад: матриця – ПГ-С1, ПЖ1, армуючі складові – ферохром вуглецевий ФХ-800, карбід хрому (табл. 2, табл. 3). Для зміцнення ріжучих кромок робочих органів СГМ можна використовувати твердий сплав “Сормайт”.

Таблиця 2

Матеріали для зміцнення робочих органів і деталей СГМ, що працюють в умовах абразивного зносу

Вид зносу та умови роботи	Рекомендований матеріал для зміцнення		Товщина шару, мм
	Наповнювач	Матриця	
Абразивний знос у поєднанні з ударними навантаженнями	ФХ-800	ПГ – С1	1,4 – 2,0
Абразивний знос з високими питомими навантаженнями та температурними напруженнями	ФХ-800	ПГ-СР3	0,2 – 0,8
Абразивний знос у ґрунтовому середовищі у поєднанні з вимогами ефективною підрізки рослин	ФХ-800 (58%) Т2 (25%)	ПГ – С1	0,3 – 0,8
Переміщення у рослинній масі, що містить абразивні частки та подрібнення силосної маси, соломи, рихлення ґрунту	ФХ-800	ПГ – С1 ПГ-27	0,3 – 0,8

Таблиця 3

Хімічний склад компонентів композиційного покриття

Матеріал	Вміст хімічних елементів, %							
	Fe	Cr	C	Si	Mn	Ni	P	S
Наплавочний сплав ПГ-С1	основа	28,7	3,17	3,20	0,70	3,51	0,04	0,04
Ферохром вуглецевий ФХ-800	основа	65,6	7,8	2,0	-	-	0,07	0,04
Карбід хрому	-	до 85	13,2	-	-	-	-	-

Допоміжні матеріали, як правило, не залишаються в покритті після його нанесення і використовуються на різних стадіях технологічного процесу, сприяючи створенню необхідних властивостей – зниженню міжчасткового тертя при формуванні, пороутворенню, видаленню окисних плівок і т.д. [19].

Кожен з компонентів вводиться до складу КМ з метою додати йому властивості, якими не володіє кожен з компонентів окремо. В результаті

поєднання армуючих елементів і матриці утворюється комплекс властивостей композиту, що не лише відображає початкові характеристики його компонентів, але і включає властивості, якими ізольовані компоненти не володіють. Вибір армуючого компоненту визначається призначенням КМ, вибір матричного матеріалу - рівнем робочих температур. Шляхом підбору складу і властивостей наповнювача і матриці, їх співвідношення, орієнтації наповнювача можна отримати матеріали з необхідним поєднанням експлуатаційних і технологічних властивостей. Механічні характеристики композиційного матеріалу визначаються співвідношенням властивостей армуючих елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними [20].

Вибір компонентів КМ обмежується їх сумісністю. Вирішення проблеми регулювання сумісності компонентів в одному покритті дає в повному обсязі використовувати триботехнічні властивості композиційних покриттів. Ефективність і роботоздатність матеріалу залежать від правильного вибору початкових компонентів і методів їх формування, які повинні забезпечити міцний зв'язок між компонентами при збереженні їх первинних характеристик.

Природа початкових компонентів, їх фазовий стан, співвідношення, стан межі розділу фаз, створення мікро- і макроструктури визначають властивості композиційних покриттів [21]. Комбінуючи об'ємний вміст компонентів, можна, залежно від призначення, отримувати матеріали з необхідними значеннями міцності, зносостійкості, жароміцності, модуля пружності, а також створювати композиції з необхідними властивостями. Композиційні кераміко-металічні покриття по їх призначенню і використанню розділяють на зносостійкі, антифрикційні, фрикційні, корозійностійкі, спеціальні [22].

Композиційні покриття приймають на себе частину функціональних властивостей робочих поверхонь деталей (зносостійкість, контактну міцність і т.д.) і тим самим забезпечують їх виготовлення із менш дефіцитного і більш дешевого матеріалу. Важливою умовою подальшої роботоздатності зміцнених робочих поверхонь деталей є узгодженість термомеханічних характеристик композиційних покриттів і основи. Тобто, композиційне покриття і матеріал деталі повинні мати "експлуатаційну сумісність". У тому випадку, коли хімічний склад матеріалу заданий, на перший план виходять три основні критерії:

- 1) висока енергонасиченість матеріалу;
- 2) стабільна формованість з отриманням необхідної щільності;
- 3) правильний підхід у встановленні температурно-тимчасових режимів на кінетичному і термодинамічному рівнях, при яких формується базова структура матеріалу, що забезпечує проєктовані функціональні властивості виробу.

При виборі матеріалу деталі необхідно враховувати механізми фізико-механічних взаємодій її поверхні з матеріалом композиційного покриття. Матеріал зміцнюючої деталі повинен мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення, в порівнянні з композиційним покриттям, забезпечувати максимальну міцність зчеплення з ним [23]. Вирішення проблеми підвищення зносостійкості РО СГМ і триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями тісно пов'язане зі способами їх нанесення.

Висновки. Проаналізована структура порошкових композиційних матеріалів, розглянута будова плакованих та конгломератних частинок, наведена будова гетеродисперсних та гомодисперсних конгломератних частинок.

Визначено, що в якості матеріалу для нанесення зносостійких композиційних покриттів на деталі, що працюють в умовах абразивного зносу та поєднується з сильними ударами, доцільно використовувати КМ, наповнювачами в яких служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів і карбідів), та КМ, що містять підвищений вміст нікелю.

Визначено критерії сумісності при виборі компонентів композиційних матеріалів, до яких можна віднести близький до матеріалу основи коефіцієнт термічного розширення; відсутність несприятливого впливу на властивості основи; дифузійна інертність до основи; достатня адгезія; комплекс необхідних експлуатаційних характеристик.

Список літератури

1. Martin J.W. 6 - Composite materials / Editor(s): J.W. Martin. – Materials for Engineering (Third Edition), Woodhead Publishing. – 2006. – P. 185-215.
2. Kolomeichenko A., Titov N. Technology of Reconditioning with Hardening of Working Elements of Construction and Road Machines by Composite Coatings / A. Kolomeichenko, N. Titov // The VI International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2020). – 2021. – Vol. 334. – P.02017.
3. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей / Новиков Н.Б., Бидный А.А., Ляшенко Б.А. и др. – К.: ИСМ АН Украины, 1989. - 112 с.
4. Канарчук В.Є., Посвятенко Е.К., Лопата Л.А. Шляхи удосконалення методів інженерії поверхні деталей машин / Канарчук В.Є., Посвятенко Е.К., Лопата Л.А. // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych. - 2000. - P. 20-23.
5. Mechanical properties and abrasive wear behaviour of Al-based PVD amorphous/nanostructured coatings / J. Lawal, P. Kiryukhantsev-Korneev, A. Matthews et al. // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 310. – P. 59-69.
6. A review on wear-resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy / H. Bai, L. Zhong, L. Kang et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 882. – P. 160645.
7. Abrasive Wear Resistance of Powder Composites at Abrasive Erosion and Abrasive Impact Wear / P. Kulu, R. Veinthal, H. Käerdi et al. // Materials Science (Medžiagotyra). – 2008. - Vol. 14, No. 4. – P. 328 – 332.
8. Czupryński A. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Metal Matrix Composite Coatings Deposited on Steel Grade AISI 4715 by Powder Plasma Transferred Arc Welding Part 1. Mechanical and Structural Properties of a Cobalt-Based Alloy Surface Layer Reinforced with Particles of Titanium Carbide and Synthetic Metal–Diamond Composite / A. Czupryński // Materials. – 2021. – 14(9). – P. 2382.
9. High Strength and High Wear-Resistant Ti Composites Fabricated by Powder Metallurgy Pressureless Sintering / Y. Liu, Y. Pan, J. Sun et al. // Advanced Materials Technologies. – 2022. - Vol. 7, Iss. 11. – P. 2200219.
10. Band materials with coating based on composite powder systems / Kovtun V.A., Pleskachevsky Y.M., Zhirnov E.A., Shalobalov M.O. // World Congress et exhibition “Powder Metallurgy-2004”, Vienna, Austria, 2004. – V. 5. – P. 87-92.
11. Rosso M. Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties / M. Rosso // Journal of Materials Processing Technology. – 2006. – Vol. 175, Issues 1–3. – P. 364-375.
12. Cazan C., Enesca A., Andronic L. Synergic Effect of TiO₂ Filler on the Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites / C. Cazan, A. Enesca, L. Andronic // *Polymers*. – 2021. - 13(12). – P. 2017.
13. Мікосянчик О. О., Шамрай В. Б. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями/ О. О. Мікосянчик, В. Б. Шамрай // Проблеми тертя та зношування. – 2022. – 4 (97). – С. 44-51.

14. Лузан С.О. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. Курс лекцій / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, С.О. Лузан. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 127 с.
15. Лузан С.А. Математическое моделирование интегрированного газопламенного напыления / Науковий вісник будівництва – Харків: ХНУБА, 2014. – № 2(76). – С. 160-163.
16. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.
17. Лузан С.А. Газотермическое напыление покрытий [Текст]: Монография. / С.А. Лузан – Харьков: Издательство "НТМТ", 2009. – 134 с.
18. Композитні та порошкові матеріали: навчальний посібник / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. – Луцьк: Видавець: ФОП Теліцин О.В., 2017. – 368 с.
19. Mishra S.C., Sarkar S. Processing and tribological behaviour of flyash-illmenite coating / S.C. Mishra, S. Sarkar / Thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of technology in Metallurgical & Materials Engineering, department of metallurgical & materials engineering national institute of technology, Rourkela – 2008. – 120 p.
20. Monte Carlo simulation for exploring the mechanical properties of particle-reinforced composites based on the scale boundary finite element method / K. Zhao, R. Guo, G. Liu, Y. Li // Composite Structures. – 2022. – Vol. 297. – P. 115933.
21. Демиденко О.А. Закономірності формування структури та властивостей порошкових композиційних матеріалів на основі заліза та самофлюсівних сплавів багатофункціонального призначення / О.А. Демиденко. – Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали. – Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2021. – 227 с.
22. Lin C., Yao Y. Corrosion-Resistant Coating Based on High-Entropy Alloys / C. Lin, Y. Yao // Metals. – 2023. – 13(2). – P. 205.
23. Tunable Coefficient of Thermal Expansion of Composite Materials for Thin-Film Coatings / Long X., Su T., Chen Z., et al. // Coatings. – 2022. – 12(6). – P.836

Стаття надійшла до редакції 20.02.2023.

Шамрай Віталій Борисович – аспірант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>.

Мікосянчик Оксана Олександрівна – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: oksana.mikos@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>.

Лопата Лариса Анатоліївна - кандидат техн. наук, доцент, науковий співробітник лабораторії зміцнення поверхні елементів конструкцій, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренко Національної академії наук України, вулиця Садово-ботанічна, 2, м. Київ, Україна, 01014. E-mail: beryuza@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2053-9252>.

Голембієвський Григорій Григорійович – старший викладач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: hryhorii.holembiievskiyi@npp.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2092-9637>.

Стор Сергійович Горб – здобувач вищої освіти освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт», освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: 6893427@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1328-9072>.

V. B. SHAMRAI, O. O. MIKOSIANCHYK, L. A. LOPATA, G. G. GOLEMBIYEVSKYY, Y. S. HORB

COMPOSITE MATERIALS FOR WEAR-RESISTANT COATINGS OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

An analysis of the compatibility of the matrix and fillers as components for wear-resistant composite materials was carried out. The study demonstrated that using of composite ceramic-metallic materials increase wear resistance of working parts of agricultural machinery. The study analyzed the effectiveness of the use of composite materials with dispersed particles of refractory phases, ferroalloys, self-fluxing alloys based on nickel and iron for strengthening parts of agricultural machinery that operates in conditions dominated by abrasive and corrosive-mechanical wear. The study determined that the suitable materials for applying wear-resistant composite coatings to parts that work under conditions of abrasive wear combined with strong impacts are CM, where fillers are dispersed particles of refractory phases - oxides and carbides, and CM containing increased nickel content. The study also analyzed the expediency of using component materials for the creation of composite coatings, such as matrix - PG-C1, PG1, and reinforcing components - carbon ferrochrome FX-800, chromium carbide. The study considered the structure of powder composite materials, the structure of clad and conglomerate particles, and the structure of heterodisperse and homodisperse conglomerate particles. Furthermore, the study considered the effectiveness of the use of self-fluxing alloys as a multicomponent heterogeneous system based on Ni, Co, Fe, containing a soft matrix and solid dispersed inclusions of carbide, boride, and silicide. The study determined that use of self-fluxing iron-based alloys increases a wear resistance, hardness and other properties of working parts of agricultural machines. The study defined the role of the dispersed particles and matrix in wear-resistant composite coatings. The compatibility criteria for the selection of components of composite materials are given. The main compatibility criteria include a coefficient of thermal expansion close to the base material; no adverse effect on the properties of the base; diffusive inertness to the base; sufficient adhesion; a set of necessary operational characteristics; economic feasibility.

Keywords: composite coatings, parts of agricultural machinery, matrix, filler, wear resistance.

Referenses

1. Martin J.W. 6 - Composite materials / Editor(s): J.W. Martin. – Materials for Engineering (Third Edition), Woodhead Publishing. – 2006. – P. 185-215.
2. Kolomeichenko A., Titov N. Technology of Reconditioning with Hardening of Working Elements of Construction and Road Machines by Composite Coatings / A. Kolomeichenko, N. Titov // The VI International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2020). – 2021. – Vol. 334. – P.02017.
3. Metody uprochneniya poverhnostey mashinostroitel'nyh detalej / Novikov N.B., Bidnyj A.A., Ljashenko B.A. i dr. – K.: ISM AN Ukrainy, 1989. - 112 s.
4. Kanarchuk V.C., Posvjatenko E.K., Lopata L.A. Shljahi udoskonalennja metodiv inzhenerii poverhni detalej mashin / Kanarchuk V.C., Posvjatenko E.K., Lopata L.A. // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych. - 2000. - P. 20-23.5. Mechanical properties and abrasive wear behaviour of Al-based PVD amorphous/nanostructured coatings / J. Lawal, P. Kiryukhantsev-Korneev, A. Matthews et al. //Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 310. – P. 59-69.
6. A review on wear-resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy / H. Bai, L. Zhong, L. Kang et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 882. – P. 160645.
7. Abrasive Wear Resistance of Powder Composites at Abrasive Erosion and Abrasive Impact Wear / P. Kulu, R. Veinthal, H. Käerdi et al. // Materials Science (Medziagotyra). – 2008. - Vol. 14, No. 4. – P. 328 – 332.
8. Czupryński A. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Metal Matrix Composite Coatings Deposited on Steel Grade AISI 4715 by Powder Plasma Transferred Arc Welding Part 1. Mechanical and Structural Properties of a Cobalt-Based Alloy Surface Layer Reinforced with Particles of Titanium Carbide and Synthetic Metal–Diamond Composite / A. Czupryński // Materials. – 2021. – 14(9). – P. 2382.
9. High Strength and High Wear-Resistant Ti Composites Fabricated by Powder Metallurgy Pressureless Sintering / Y. Liu, Y. Pan, J. Sun et al. // Advanced Materials Technologies. – 2022. - Vol. 7, Iss. 11. – P. 2200219.

10. Band materials with coating based on composite powder systems / Kovtun V.A., Pleskachevsky Y.M., Zhirnov E.A., Shalobalov M.O. // World Congress et exhibition "Powder Metallurgy-2004", Vienna, Austria, 2004. – V. 5. – P. 87-92.
11. Rosso M. Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties / M. Rosso // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 175, Issues 1–3. – P. 364-375.
12. Cazan C., Enesca A., Andronic L. Synergic Effect of TiO₂ Filler on the Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites / C. Cazan, A. Enesca, L. Andronic // *Polymers*. – 2021. – 13(12). – P. 2017.
13. Mikosjanchik O. O., Shamraj V. B. Pidvishhennja eksploataciynih vlastivostej detalej sil'skogospodars'koj tehniki kompozicijnimi pokrittjami/ O. O. Mikosjanchik, V. B. Shamraj // *Problemi tertja ta znoshuvannja*. – 2022. – 4 (97). – S. 44-51.
14. Luzan S.O. Obruntuvannja ta vdoskonalennja tehnologij vidnovlennja detalej. Kurs lekcij / S.O. Luzan, O.I. Sidashenko, S.O. Luzan. – Harkiv: HNTUSG, 2020. – 127 s.
15. Luzan S.A. Matematicheskoe modelirovanie integrirovannogo gazoplamnennogo napylenija / *Naukovij visnik budivnictva* – Harkiv: HNUBA, 2014. – № 2(76). – S. 160-163.
16. Cidashenko O.I. Remont mashin ta obladnannja: Pidruchnik. / O.I. Sidashenko ta in.; za red. prof. O.I. Sidashenka, O.A. Naumenka. – K.: Agroosvita, 2014. – 665 s.
17. Luzan S.A. Gazotermicheskoe napylenie pokrytij [Tekst]: Monografija. / S.A. Luzan – Har'kov: Izdatel'stvo "NTMT", 2009. – 134 s.
18. Kompozitni ta poroshkovi materiali: navchal'nij posibnik / P.P. Savchuk, V.P. Kashic'kij, M.D. Mel'nichuk, O.L. Sadova; za zag. red. P.P. Savchuka. – Luc'k: Vidavec': FOP Telicin O.V., 2017. – 368 s.
19. Mishra S.C., Sarkar S. Processing and tribological behaviour of flyash-illmenite coating / S.C. Mishra, S. Sarkar / Thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of technology in Metallurgical & Materials Engineering, department of metallurgical & materials engineering national institute of technology, Rourkela – 2008. – 120 p.
20. Monte Carlo simulation for exploring the mechanical properties of particle-reinforced composites based on the scale boundary finite element method / K. Zhao, R. Guo, G. Liu, Y. Li // *Composite Structures*. – 2022. – Vol. 297. – P. 115933.
21. Demidenko O.A. Zakonomirnosti formuvannja strukturi ta vlastivostej poroshkovih kompozicijnih materialiv na osnovi zaliza ta samofljusivnih splaviv bagatofunkcional'nogo prznachennja / O.A. Demidenko. – Dis. na zdobuttja nauk. stup. kand. tehn. nauk: 05.16.06 – poroshkova metalurgija ta kompozicijni materiali. – Nacional'nij tehnicnij universitet Ukraïni «KPI» im. Igorja Sikors'kogo, Kiïv, 2021. – 227 s.
22. Lin C., Yao Y. Corrosion-Resistant Coating Based on High-Entropy Alloys / C. Lin, Y. Yao // *Metals*. – 2023. – 13(2). – P. 205.
23. Tunable Coefficient of Thermal Expansion of Composite Materials for Thin-Film Coatings / Long X., Su T., Chen Z., et al. // *Coatings*. – 2022. – 12(6). – P.836

Shamrai Vitaliy Borusovich - graduate student of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>

Mikosianchyk Oksana Oleksandrivna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: oksana.mikos@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>

Lopata Larysa Anatolievna - Candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher of the laboratory of surface strengthening of structural elements, G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of National Academy of Sciences of Ukraine, 2, Salovo-botanical Street, Kyiv, Ukraine, 01014, E-mail: beryuza@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2053-9252>

Golembiyevskyy Grygoriy – Senior Lecturer of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: hryhorii.holembiievskyyi@npp.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2092-9637>

Horb Yehor Serhiyovych – Graduate of Higher Education with a Master's Degree in Specialty 272 "Aviation transport", Educational and Professional Program «Maintenance and repair of aircraft and aircraft engines», National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 6893427@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1328-9072>.