

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(110).20919

М. В. КИНДРАЧУК<sup>1</sup>, О. І. БАЛИЦЬКИЙ<sup>2</sup>, Н. М. СТЕБЕЛЕЦЬКА<sup>3</sup>,  
В. В. ХАРЧЕНКО<sup>1</sup>, Т. П. МАСЛАК<sup>1</sup>, А. О. ЮРЧУК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

<sup>3</sup> ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», Бережани

## МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЦИКЛІЧНО-НАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ З ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

У роботі розглянуті технологічні особливості підвищення ресурсу циклічно-навантажених деталей вузлів тертя з газотермічними покриттями. Представлено результати досліджень та їх аналіз щодо впливу окремих технологічних варіантів формування зносостійких покриттів, отриманих методом детонаційно-газового напилювання (ДГН), на циклічну міцність матеріалу основи – титановий сплав ВТ8. Використання у програмі досліджень варіантів хімічного Ni-підшарку забезпечило більш плавнішу зміну пружних властивостей від матеріалу основи до покриття. Проаналізовано вплив структури, фазового складу, пористості та адгезійної міцності газотермічних покриттів на опір втоми, зносостійкість і тріщиностійкість деталей в умовах змінних навантажень та тертя. Показано роль залишкових напружень, механізмів зародження і розвитку втомних тріщин у системі «основа – покриття», а також вплив технологічних параметрів напилення і післянапилювальної обробки на експлуатаційні характеристики. Обґрунтовано напрями оптимізації складу та структури покриттів з метою підвищення довговічності та надійності роботи вузлів тертя в умовах циклічного навантаження.

**Ключові слова:** газотермічні покриття, циклічні навантаження, детонаційно-газове напилення, зносостійкість, вузли тертя, втомна міцність.

**Стан проблеми.** У сучасному машинобудуванні, авіаційній галузі, енергетиці, транспорті однією з актуальних проблем є підвищення надійності та працездатності деталей вузлів тертя, що експлуатуються в умовах циклічних навантажень, корозійно-активних середовищ. Умови експлуатації зумовлюють інтенсивний розвиток втомних пошкоджень і зношування, що призводить до передчасного виходу деталей з ладу та зниження ресурсів машин і механізмів.

Застосування технології газотермічного напилювання дає змогу істотно підвищити зносостійкість деталей вузлів тертя, а також ефективно проводити ремонт по відновленню зношених деталей [1-4]. Але, результати експлуатаційного досвіду таких деталей і результати досліджень впливу газотермічних покриттів (ГТП) на механічні властивості матеріалу основи показали [5, 6, 7], що нанесення ГТП має негативний вплив на міцність металів. Це суттєво проявляється внаслідок зниження опору руйнування від утомленості при циклічних навантаженнях. Враховуючи високі вимоги до вагових параметрів елементів конструкцій машин, їх надійності, встановлення причин негативного впливу і пошук ефективних шляхів його зниження на підвищення циклічної міцності сплавів конструкцій набуває важливого наукового та технічного завдання.

Процес формування покриттів методом газотермічного напилювання зумовлює їх значну гетерогенність і структурну неоднорідність, яка має характеристики підвищеної пористості, наявності непрореагованих частинок та шарів із слабкими міжгранічними зв'язками, а також інтерметалічних та крихких оксидних включень, що утворюються внаслідок взаємодії компонентів напилюваного матеріалу між собою й і з газовим середовищем. Подібні дефекти, розміщені як в об'ємі покриття, так і на його поверхні чи на межі з основою, створюють концентрацію напружень та можуть слугувати центрами зародження тріщин [6]. Пониження механічних властивостей металів з газотермічним покриттям також може відбуватись з причини виникнення у поверхневих шарах композиції або на межі поділу розтягуючих напружень [6]. Окрім того, можна виділити ще декілька можливих механізмів впливу ГТП на результат знеміцнення металів. Насамперед, відмінність між модулями пружності покриття й матеріалу основи, призводить при дії зовнішнього навантаження до їх різної за величиною деформації, що веде до появи на межі поділу "покриття-основа" додаткових перенапружень. Ще одним чинником є така можлива перебудова міжатомних зв'язків при нанесенні покриття у поверхневому шарі матеріалу основи, яка викличе зменшення енергетичного бар'єру, що долається дислокаціями при виході їх на поверхню, тобто покриття, впливаючи на динаміку руху дислокацій, може створювати більш сприятливі умови для розвитку процесів пластичного деформування і накопичення пошкоджень від утомленості. У загальному випадку вплив зазначених факторів повинен мати сумарний(комплексний) характер, проте навіть кожен із них окремо здатний значно знизити міцність.

Дослідження причин зниження міцності металів унаслідок нанесення ГТП дає підстави щодо розгляду напрямів підвищення опору руйнуванню циклічно-навантажених деталей з ГТП:

- удосконалення технології процесів газотермічного напилювання з метою формування структурно-однорідних покриттів із мінімальною кількістю дефектів, зменшення виникнення залишкових розтягувальних напружень, а також відсутність або мінімізація несприятливих впливів на структурний стан матеріалу основи;

- вибір матеріалів покриття та основи, що забезпечує найвідповідніше поєднання їх міцнісних і пружно-пластичних характеристик;

- створення бар'єрів, які обмежують вихід дислокацій на поверхню поділу покриття з основою;

- зміцнення матеріалу основи та формування у композиції залишкових стискаючих напружень, здатних ефективно протидіяти процесам ініціації (зародження) і розвитку тріщин;

- забезпечення оптимального поєднання адгезійної й когезійної міцності покриття для запобігання процесів зародження та розвитку тріщин.

**Методика досліджень.** Відповідно до визначених у роботі напрямів, методика досліджень була спрямована на встановлення впливу окремих технологічних варіантів формування зносостійких покриттів, отриманих методом детонаційно-газового напилювання (ДГН), на міцнісні характеристики матеріалу основи, в якості якої виступає титановий сплав ВТ8. Для напилювання покриття, як матеріали, застосовувались порошкові композиційні суміші ВН30 (70 ваг. % WC + 30 ваг. % Ni) та ВК15 (85 ваг. % WC + 15 ваг. % Co), які характеризуються високою зносостійкістю і добре зарекомендували себе для її підвищення та

відновлення деталей авіаційних газотурбінних двигунів [8]. Випробування на втому проводили на циліндричних зразках у режимі чистого згину з обертанням за симетричного циклу навантаження з частотою 50 Гц відповідно до вимог ГОСТ 25502-79.

Напилювання здійснювали на автоматизованій детонаційній установці конструкції ІПМ НАН України за режимів, оптимальних щодо адгезійної міцності покриття. Перед процесом напилювання для оцінювання ефективності поверхневого пластичного деформування, як чинника зміцнення системи "основа – газотермічне покриття", застосували гідродробоструменеву обробку робочої поверхні зразків, використавши сталеві кульки.

**Мета експерименту** полягала в дослідженні встановлення закономірностей впливу різних технологічних варіантів формування зносостійких покриттів методом детонаційно-газового напилювання, а також попереднього поверхневого пластичного деформування, на втомну міцність матеріалу основи — титанового сплаву ВТ8 і тріщиностійкість системи «основа – ГТП» за циклічних навантажень.

**Результати дослідження.** Для визначення межі втомленості за базу випробувань взяли  $1 \cdot 10^7$  цикл. Досліджувалось 6 партій зразків, які були підготовлені за технологічними варіантами, перелік яких наведений у таблиці 1, у якій також подано отримані значення межі втомленості  $\sigma_{-1}$  за результатами випробувань на втому. Після напилювання на робочу частину зразків, покриття піддавали шліфуванню алмазним інструментом. У результаті обробки товщина напиленого шару становила близько 0,1...0,15 мм, а величина шорсткості поверхні  $R_a \sim 0,2...0,3$  мкм.

Таблиця 1

**Технологічні варіанти підготовки зразків і результати випробувань на втому**

№	Варіанти	Межа втоми $\sigma_{-1}$ , МПа
1	Сплав ВТ8, без покриття	500
2	Сплав ВТ8 + ДГП ВК15	160
3	Сплав ВТ8 + ДГП ВН30	140
4	Сплав ВТ8 + гідродробоструменева обробка + ДГП ВК15	440
5	Сплав ВТ8 + підшарок хім. Ni (~ 45 мкм) + ДГП ВК15	320
6	Сплав ВТ8 + підшарок хім. Ni (~ 45 мкм) + відпал + ДГП ВК15	380

Застосування варіантів з підшарком хімічного Ni до програми досліджень було спрямоване на забезпечення більш плавного переходу щодо зміни пружних властивостей від матеріалу основи до покриття. Для підвищення міцності нікелевого підшарку та його адгезійної міцності з основою зразки відпалювали при температурі близькій 573 К упродовж 1,5 год.

Отримані експериментальні дані, наведені у таблиці, показують, що межа утомленості зразків із детонаційними покриттями ВК15 та ВН30 є нижчою ніж у зразків зі сплаву ВТ8 без покриття відповідно у 3,1 і 3,6 рази. Металографічні та фрактографічні дослідження зламів зразків із покриттями продемонстрували, що

зародження тріщин відбувається або у покритті, або на межі поділу покриття з основою, а тоді їх подальше поширення здійснюється в матеріал основи. При цьому, характерною особливістю є розповсюдження не однієї, а декількох тріщин одночасно (рис. 1, а). Значно менший опір втомного руйнування композиції ВТ8 + ДГП ВН30 порівняно з композицією ВТ8 + ДГП ВК15, за даних умов, може бути зумовлений нижчою міцністю когезійних зв'язків між структурними складовими покриття ВН30. Саме ці зв'язки в умовах циклічного навантаження визначають здатність напиленого шару протидіяти зародженню і поширенню втомних тріщин. У твердосплавних композитах, основою яких є карбід вольфраму WC, найвищу міцність зв'язків твердих розчинів, що формуються між WC і зв'язкою, забезпечує кобальт. Певний внесок у зниженні опору втомному руйнуванню композиції ВТ8 + ДГП ВН30 може вкладати також більш висока адгезійна міцність покриття ВН30 з основою: для композиту ВТ8 + ДГП ВН30  $\sigma_{адг.} \sim 100 \dots 120$  МПа, а для композиту ВТ8 + ДГП ВК15  $\sigma_{адг.} \sim 60 \dots 80$  МПа. За умов високої адгезійної міцності зв'язку у вершині тріщини, що поширюється з покриття в матеріал основи, може мати місце релаксація напруги через відшарування покриття, в наслідок чого перехід тріщини в основний метал уповільниться або буде неможливим. Як бачимо, що підвищення адгезійної міцності покриття призводить до зниження імовірності цього процесу.

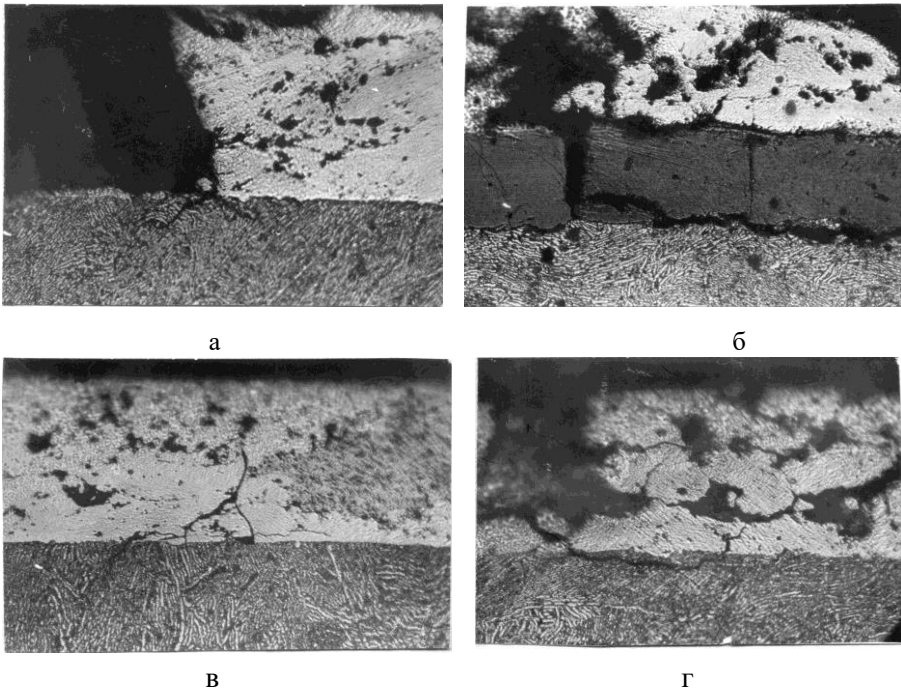


Рис. 1 – Мікроструктура поверхневих шарів зразків після руйнування від утомленості при циклічному навантаженні (x400): а – ВТ8 + ДГП ВК15; б – ВТ8 + підшарок хім. Ni (~45 мкм) + відпал + ДГП ВК15; в, г – ВТ8 + гідродробоструменева обробка + ДГП ВК15

Межа втомленості зразків з підшарком хімічного Ni, згідно одержаних результатів, становить 320 МПа для не відпалених після нанесення підшарку і 380 МПа для відпалених після нанесення підшарку, що у 2 і 2,37 рази вище межі втомленості композиції ВТ8 + ДГП ВК15. Як вище зазначалось, однією з

основних причин зниження втомної міцності металів із ГТП є відмінність пружних властивостей покриття і матеріалу основи. Наявність підшарку хімічного Ni напевно забезпечує плавнішу зміну модулів пружності при переході від титанового сплаву до покриття VK15, що призводить до зниження рівня діючих на межах поділу напружень. Окрім цього, підшарок служить ефективним бар'єром, який чинить опір поширенню тріщини з покриття в матеріал основи.

Підтвердженням зазначеного припущення є результати металографічного аналізу досліджуваних зразків. З рис. 1, б, видно, що тріщини, які зародились у покритті, не переходять в основу, проходячи через підшарок, а розгалужуються і поширюються по межі поділу основи з підшарком. Імовірно вплив відпалювання для композиції з підшарком хімічного Ni позитивно сприяє зменшенню рівня залишкових напружень і підвищенню міцності підшарку. Вимірювання мікротвердості показали, що після відпалювання, значення мікротвердості підшарку збільшилось в середньому у 2 рази.

Попереднє зміцнення поверхні гідродробоструменевою обробкою перед напилюванням підвищило межу втомленості зразків із детонаційним покриттям VK15 від 160 МПа до 440 МПа, тобто більше ніж у 2,7 рази. Ефект зростання опору втомному руйнуванню під час обробки металів методами поверхневого пластичного деформування (ППД) пояснюють із створенням у поверхневому шарі залишкових напружень стиску і підвищенням міцності приповерхневих об'ємів металу через ефект деформаційного нагартування. У забезпеченні підвищеного опору до циклічних навантажень для сплавів на основі титану при обробці методами ППД значну роль відіграють саме залишкові напруження стиску [9].

Наведені залишкові напруження у матеріалі основи шляхом ППД, які діють через адгезійний контакт, створюють у напиленому шарі напруження такого ж самого знаку. Тому очікувано, що попередня обробка методами ППД перед напилюванням, формуючи в системі "метал – ГТП" сприятливий напружений стан, перешкоджає процесам зародження і розвитку втомних тріщин як в основі, так і в покритті. Водночас, якщо враховувати, що у покритті за умов циклічного навантаження через присутність у значній кількості структурних дефектів можливі високі перенапруження, основна дія стиску залишкових напружень від ППД, імовірно, полягає у гальмуванні розвитку тріщин із покриття в матеріал основи. На користь даного припущення вказує той факт, що при металографічному дослідженні зразків, зміцнених гідродробоструменевою обробкою перед напилюванням, під час втомного руйнування спостерігалось інтенсивне розтріскування покриття. Проте, у більшості випадків тріщини, що утворилися у покритті, не є магістральними. Замикаючись у покритті вони або сповільнюються, заходячи на невелику глибину в основу та змінюють напрям росту до поверхні поділу між основою та покриття (рис. 1, в, г). Як правило, осередок злому знаходиться під зміцненим поверхневим шаром матеріалу основи.

**Висновки.** Результати експериментальних даних підтверджують, що нанесення підшару з проміжним модулем пружності між основою та покриттям і обробка поверхні металу методами ППД дають змогу значно зменшити негативний ефект впливу газотермічних покриттів на циклічну міцність матеріалу основи. Застосування вище розглянутих технологічних методів у поєднанні з оптимізацією триботехнічних властивостей газотермічних покриттів істотно розширить можливості їх ефективного практичного використання для вирішення

завдань щодо підвищення зносостійкості та відновлення працездатності деталей вузлів тертя.

### Список літератури

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 543 с.
2. Харламов Ю.А. Рекомендации по выбору газотермических покрытий: опыт промышленности США // Рукопись Деп. в УкрНИИИТИ. – № 2038. – 1980. – 271 с.
3. Hryhorenko, G.M. Formation of microstructure of plasma-arc coatings obtained using powder wires with steel skin and B 4 C + (Cr, Fe)<sub>7</sub> C<sub>3</sub> + Al filler/ Hryhorenko, G.M., Adeeva, L.I., Tunik, A.Y., Karpets, M.V., Korzhyk, V.N., Kindrachuk, M.V., Tisov, O.V.// *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. Volume 42, Issue 9, September 2020, Pages 1265-1282. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.09.1265>
4. Kindrachuk M. Methodology for selection of compatible metal materials for friction pairs under fretting-corrosion wear / V. Kharchenko, V. Marchuk, I. Humeniuk, D. Leusenko // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. Volume 46, Issue 7, July 2024, Pages 637 - 648. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.07.0637>
5. Физико-механические свойства и разрушение детонационных покрытий / В.К. Федоренко, Ю.В. Мильман, В.Х. Кадыров и др. // Порошковая металлургия, 1987.–№ 11.
6. Копылов В.И. Проявление разупрочняющего эффекта у конструкционных материалов с плазменными покрытиями // Физ.-хим. механика материалов, 1977. – Т.13, № 5. – С. 61-67.
7. Комбіновані методи інженерії поверхні: монографія / М.В. Кіндрачук, О.І. Духота, В.Є. Марчук, І.А. Гуменюк, В.В. Харченко.- К.: НАУ, 2024. – 160 с.
8. Створення та впровадження нового класу евтектичних композиційних матеріалів в інноваційні технології підприємств машинобудування: монографія: [В.Є. Панарін, М.В.Кіндрачук, П.І. Лобода, В.А Тітов та ін.] – Запоріжжя: АТ «Мотор Січ». – 2016. – 263с.
9. Пат. 98452 України Спосіб отримання твердого покриття з підвищем опором втомному руйнуванню на поверхні металевого виробу / Кіндрачук М.В., Духота О.І., Кудрін А.П., Тісов О.В., Мікосянчик О.О., Науменко Н.О.; № u 201412654; Заявл.25.11.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8. – 6с.

Отримано: 7 лютого 2026

Прийнято: 2 березня 2026

Опубліковано: 9 квітня 2026

**Кіндрачук Мирослав Васильович** — член-кореспондент НАН України, докт. техн. наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Державного університету «Київський авіаційний інститут», пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38(044)4067773, E-mail: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>.

**Балицький Олександр Іванович**- професор кафедри експлуатації автомобілів, д.т.н., професор Західнопоморського технологічного університету, пр. П'ястова, 19 м. Щецин, Республіка Польща, 70-310, провідний науковий співробітник відділу міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України, вул. Наукова, 5, м. Львів Україна, 79-601 <https://orcid.org/0000-0002-3841-5493>

---

**Стебелецька Наталія Миронівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри прикладної механіки та технічного сервісу ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» Тернопільська область, м. Бережани, вул. Академічна, 20, 47501, E-mail: [stebeletska@ukr.net](mailto:stebeletska@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2726-0932>.

**Харченко Володимир Володимирович** – завідувач лабораторії кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Державного університету «Київський авіаційний інститут», пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067773, E-mail: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.

**Маслак Тетяна Петрівна** - канд. Техн. наук, доцент, доцент кафедри конструкції літальних апаратів Державного університету «Київський авіаційний інститут» пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: [akf@npp.nau.edu.ua](mailto:akf@npp.nau.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8320-8613>.

**Юрчук Аліна Олександрівна** - канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем і технологій Державного університету «Київський авіаційний інститут», пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, Email: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net)

**Kindrachuk Myroslav** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, State University "Kyiv Aviation Institute", 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>

**Balitskii Olexander** - Professor of the Department of Vehicle Operation, Doctor of Technical Sciences, Professor at the West Pomeranian University of Technology, 19 Piastowa Ave. Szczecin, Republic of Poland, 70-310, Leading Researcher, Department of Strength of Materials and Structures in Water-Containing Environments, G. V. Karpenko Institute of Physics and Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Naukovo St., Lviv, Ukraine, 79-601 Naukova St., 5, Lviv, Ukraine, 79-601, E-mail: [balitski@ipm.lviv.ua](mailto:balitski@ipm.lviv.ua) <https://orcid.org/0000-0002-3841-5493>

**Stebeletska Nataliia** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Technical Service SS NULES of Ukraine “Berezhany Agrotechnical Institute”, St. Akademichna, 20, Berezhany, Ukraine, 47501, E-mail: [stebeletska@ukr.net](mailto:stebeletska@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-2726-0932>.

**Kharchenko Volodymyr** – head of laboratory of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, State University "Kyiv Aviation Institute", 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.

**Maslak Tetyana** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aircraft Design, State University "Kyiv Aviation Institute", 1 Lyubomyr Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: [akf@npp.nau.edu.ua](mailto:akf@npp.nau.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8320-8613>.

**Yurchuk Alina** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computerized Electrical Systems and Technologies State University "Kyiv Aviation Institute", 1 Liubomyr Huzar Ave. Email: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0119-3428>

M. V. KINDRACHUK, O. I. BALITSKII, N. M. STEBELETSKA, V. V. KHARCHENKO,  
T. P. MASLAK, A. O. YURCHUK

**MATERIAL SCIENCE ASPECTS OF EXTENDING THE SERVICE LIFE  
OF CYCLICALLY LOADED COMPONENTS IN FRICTION ASSEMBLIES  
WITH GAS-THERMAL COATINGS**

The paper considers the technological features of increasing the service life of cyclically loaded parts of friction units with gas-thermal coatings. The results of research and their analysis of the influence of individual technological options for forming wear-resistant coatings obtained by the detonation-gas spraying (DGP) method on the cyclic strength of the base material - titanium alloy VT8 are presented. The use of variants of the chemical Ni-sublayer in the research program provided a smoother change in elastic properties from the base material to the coating. The influence of the structure, phase composition, porosity and adhesion strength of gas-thermal coatings on fatigue resistance, wear resistance and crack resistance of parts under conditions of variable loads and friction is analyzed. The role of residual stresses, mechanisms of nucleation and development of fatigue cracks in the "base - coating" system is shown, as well as the influence of technological parameters of spraying and post-spraying treatment on operational characteristics. The directions for optimizing the composition and structure of coatings in order to increase the durability and reliability of friction units under cyclic loading conditions are substantiated.

**Keywords:** gas-thermal coatings, cyclic loading, detonation-gas spraying, wear resistance, friction units, fatigue strength.

**Referenses**

1. Gazotermicheskie pokrytiya iz poroshkovykh materialov: Spravochnik / YU.S. Borisov, YU.A. Harlamov, S.L. Sidorenko i dr. – K.: Nauk. dumka, 1987. – 543 s.
2. Harlamov YU.A. Rekomendacii po vyboru gazotermicheskikh pokrytij: opyt promyshlennosti SSHA // Rukopis Dep. v UkrNIINTI. – № 2038. – 1980. – 271 s.
3. Fiziko-mehaniicheskie svoystva i razrushenie detonacionnykh pokrytij / V.K. Fedorenko, YU.V. Milman, V.H. Kadyrov i dr. // Poroshkovaya metallurgiya, 1987.–№ 11. 4.
4. Kopylov V.I. Proyavlenie razuprochnyayushhego jeffekta u konstrukcionnykh materialov s plazmennymi pokrytyami // Fiz.-him. mehanika materialov, 1977. – T.13, № 5. – S. 61-67.
5. Kombinovani metodi inzheneriyi poverhni: monografiya / M.V. Kindrachuk, O.I. Duhota, V.Ye. Marchuk, I.A. Gumenyuk, V.V. Harchenko.- K.: NAU, 2024. – 160 s.
6. Stvorenniya ta vprovadzheniya novogo klasu evtektichnih kompozicijnih materialiv v innovacijni tehnologiiyi pidpriyemstv mashinobuduvannya: monografiya: [V.Ye. Panarin, M.V.Kindrachuk, P.I. Loboda, V.A Titov ta in.] – Zaporizhzhya: AT «Motor Sich». – 2016. – 263s.
7. Hryhorenko, G.M. Formation of microstructure of plasma-arc coatings obtained using powder wires with steel skin and B 4 C + (Cr, Fe)7 C3 + Al filler/ Hryhorenko, G.M., Adeeva, L.I., Tunik, A.Y., Karpets, M.V., Korzhyk, V.N., Kindrachuk, M.V., Tisov, O.V.// Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. Volume 42, Issue 9, September 2020, Pages 1265-1282. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.09.1265>
8. Kindrachuk M. Methodology for selection of compatible metal materials for friction pairs under fretting-corrosion wear / V. Kharchenko, V. Marchuk, I. Humeniuk, D. Leusenko // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. Volume 46, Issue 7, July 2024, Pages 637 - 648. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.07.0637>
9. Pat. 98452 Ukrayini Sposib otrimannya tverdogo pokrittya z pidvishhem oporom vtomnomu rujnuvannyu na poverhni metalevogo virobu / Kindrachuk M.V., Duhota O.I., Kudrin A.P., Tisov O.V., Mikosyanchik O.O., Naumenko N.O.; № u 201412654; Zayavl.25.11.2014; opubl. 27.04.2015, Byul. № 8. – 6s.