

*І.В. Смірнов, к.т.н.  
(Національний технічний університет України  
«КПІ ім. І. Сікорського», Україна)  
О.Є. Мельник, О.В. Баїта, к.т.н.  
(Національний авіаційний університет, Україна)*

## **Структура і трибологічні властивості композиційних плазмових покриттів**

*Відновлення зношених деталей шляхом нанесення зносостійких покриттів найчастіше більш доцільно, ніж їх заміна на нові, оскільки їх нормативний ресурс ще не використаний повністю. Було досліджено склад і структуру композиційних плазмових покриттів та визначено їх триботехнічні характеристики у різноманітних умовах контактної взаємодії.*

Проблемам підвищення надійності та довговічності машин і механізмів завжди приділяється належна увага, що пояснюється не тільки необхідністю вирішення перспективних питань пов'язаних з розвитком нової техніки, але й актуальністю завдань, що нагромадилися тепер, з модернізації, ремонту і продовженню працездатного стану застарілих або таких, що відмовили з різних причин і особливо через знос деталей трибовузлів. У більшості випадків це стосується деталей, які працюють в умовах фретинг-корозії, абразивного, утомленого та інших видів зношення.

На сьогодні підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей трибовузлів здійснюється у наступних напрямках [1]: 1) зміна хімічного складу поверхневих шарів їх легуванням для створення структур, які будуть чинити опір процесам зношування, а в особливості таким катастрофічним як схоплення, фретинг-корозія, абразивне зношування та ін.; 2) механічний і (або) тепловий вплив на поверхневі шари металу, який обумовлює структурні перетворення, що сприяє забезпеченню працездатності пар тертя; 3) нанесення на поверхню тертя зносостійких покриттів.

Одним із напрямів сучасних ремонтних технологій для відновлення функціональних властивостей зношених деталей є використання зносостійких композиційних покриттів. Відновлення зношених деталей шляхом нанесення зносостійких покриттів найчастіше більш доцільно, ніж їх заміна на нові, оскільки їх нормативний ресурс ще не використаний повністю. Сучасні газотермічні покриття, а саме, плазмові на основі багатокomпонентних сумішів порошоків металів та їх оксидів, а також сплавів дозволяють вирішити ряд проблем у інженерії поверхні, направлених на захист деталей машин, елементів конструкції і окремих вузлів від зносу, високих температур, напружень і агресивних корозійно-ерозійних середовищ [2-5].

Особлива увага при цьому приділяється дослідженню структури і фізико-механічних властивостей нового класу композиційних покриттів з вмістом у їх структурах ультрадисперсних або нанорозмірних складових, які забезпечують комплекс необхідних властивостей – підвищена мікротвердість,

зносо-і корозійна стійкість, жароміцність і т.п. [6-9].

Один із різновидів технологічних процесів отримання сучасних композиційних покриттів полягає у використанні композиційних порошків визначеного складу, особливістю структури яких є наявність на їх поверхні тонких покриттів (плівок) полікристалевої будови, нерівноважних, дисперсних або нанорозмірних фаз, які радикально впливають на фізико-механо-хімічні властивості газотермічних покриттів [8]. Створення такого складу композиційних порошків вимагає розроблення нових методів, спеціальних технологій формування їх компонентів. Проведення подальших досліджень у напрямку визначення їх фізико-механічних властивостей є актуальним.

У зв'язку з цим, метою роботи було дослідження складу і структури композиційних плазмових покриттів та визначення їх триботехнічних характеристик у різноманітних умовах контактної взаємодії.

Плазмове напилення композиційних порошків проводили на промисловій установці УПНС-304 модернізованим плазмотроном з частково винесеною дугою і додатковим обдуванням плазмового струменя концентричним потоком захисного газу [10]. Струм дуги встановлювали в межах 80-90А, при напрузі 35-50В, продуктивністю до 4 кг/год із загальною витратою плазмоутворюючого газу, транспортуючого і захисного газу (аргону) 5л/хв. Завдяки таким конструктивним особливостям і технологічним режимам характер течії плазмового струменя у процесі напилення був близький до ламінарного, що забезпечувала сприятливі умови для збереження та перенесення у покриття порошкових матеріалів. На зразки із легованої конструкційної сталі 30ХГСНА наносили покриття на основі нікелю (із інтерметалідами NiAl) і на основі заліза двох складів, а саме механічна суміш (Fe+Al) і із інтерметалідами (Fe3Al).

Триботологічні властивості покриттів і конструкційних легованих сталей визначали в умовах абразивного і кавітаційного зношування. При абразивному зношуванні у якості абразиву використовували кварцовий пісок (SiO<sub>2</sub>), а випробування здійснювали на стандартній установці [11]. Випробування на кавітаційну стійкість проводили на установці для кавітаційного зношування конструкції НАУ. Експерименти здійснювали в режимі: тиск на виході був постійним 15МПа; перепад тиску  $\Delta p=0,93$ ; тиск насосу 0,5МПа. Покриття наносили на зразки, які мали форму шайб діаметром 25мм з центральним отвором 4 мм і товщиною 2мм, які встановлювали в конфузотно-дифузотною насадку перпендикулярно до струмка, що спонукає підвищенню швидкості ерозії і скороченню експерименту. У якості робочої рідини використовували водопровідну воду. Знос покриттів визначали на електронних вагах з точністю до 0,0001г.

Дослідження проводили з використанням комплексної методики, яка включає низку методів, а саме: структурно-фазовий склад зон контактної взаємодії композиційних покриттів, а також доріжок тертя досліджували на електронних мікроскопах РЕМ-106І і JEOL, JAMP-950; дюретричний аналіз проводили на мікротвердометрі ПМТ-3; дослідження процесів фазоутворення в композиційних матеріалах та закономірностей їх окиснення здійснювали методом високотемпературного диференційно-термінчного аналізу (ВДТА) на

установці ВДТА-8М; подрібнення та змішування порошкових сумішей проводили у планетарному млині «Санд-1».

Профілографування робочих поверхонь здійснювали на профілографі-профілометрі «Калібр-210».

Зовнішній вигляд порошкових матеріалів подано на рис.1. Порошкові матеріали на основі заліза мають сферичну форму, що забезпечують більш якісні покриття, не порувають і підвищену міцність зчиплення покриття з основою.

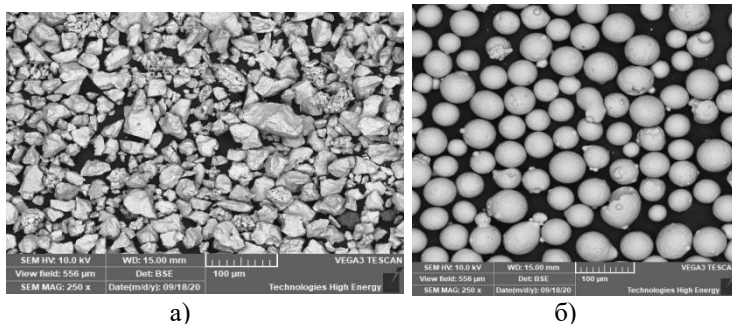


Рис.1. Зовнішній вигляд порошкових матеріалів на основі нікелю (а) і заліза (б)

Зносостійкість сталі 30ХГСНА до напилення і з покриттями при випробуваннях в умовах абразивного зношування подано в таблиці. Плазмові покриття із структурними складовими інтерметалідів суттєво підвищують зносостійкість конструкційної сталі 30ХГСНА. Механізм абразивного зношування цих покриттів визначається не тільки їх міцністю зчиплення з основою, а і ступенем пружного деформування при зануренні твердих абразивних частинок, які у більшості випадків у процесі тертя залишаються.

Таблиця 1

Зносостійкість сталі 30ХГСНА до напилення і з покриттями при випробуваннях в умовах абразивного зношування

Дослідження поверхонь тертя покриттів свідчить про те, що у покриттів

Матеріал	Відносна зносостійкість	Структура
30ХГСНА	1	Без покриття
З покриттям Fe3Al	1,75	Інтерметалід
NiAl	1,82	Інтерметалід
Fe+Al	0,21	Механічна суміш

на основі заліза, у структурі якого знаходяться інтерметаліди Fe<sub>3</sub>Al мають значно меншу поруватість (рис.2б).

Для покриттів з інтерметалідами величина твердих абразивних частинок SiO<sub>2</sub> не чинить суттєвого впливу на знос, а знос покриттів з механічною сумішшю збільшенням зернистості від 100 мкм до 500 мкм зростає від 0,09 до 0,46г.

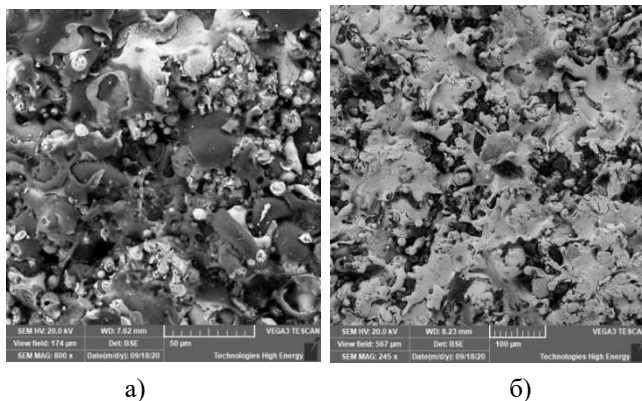


Рис.2. Мікрофотографії композитних плазмових покриттів з інтерметалідами на основі: а) нікелю, б) заліза

Результати досліджень кавітаційної стійкості покриттів подані на рис.3. Для отримання порівняльних даних експерименти проводили на конструкційних легованих сталях 30ХГСН2А і ХІ8Н12Т, як корозійно-стійких.

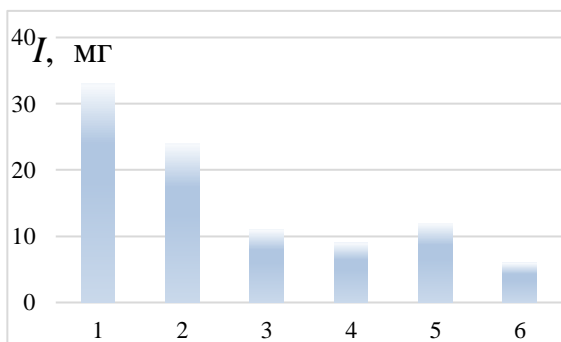


Рис.3. Кавітаційна стійкість конструкційних легованих сталей 5 і 6; композиційних плазмових покриттів на основі заліза 1,3; на основі неkelю: 2,4

## Висновки

Таким чином результати проведених досліджень є основою для наступних висновків: 1)установлено механізм абразивного зношування плазмових покриттів для даних умов випробувань; 2) обґрунтовано перспективність і доцільність застосування плазмового напилення для нанесення покриттів на деталі вузлів тертя авіаційної техніки які працюють в умовах абразиву

## Список літератури

1. Дослідження зносостійкості плазмових покриттів в умовах абразивного зношування /О.В.Мельник, І.В. Смірнов, В.Ф.Лабунець, А.В.Чорний // Проблеми тертя та зношування. 2020.-№3(88).-С.126-130.
2. Формирование газотермических покрытий: теория и практика /А.Ф. Ильюшенко, В.А.Оковитый, С.П.Кундас, Б.Форманек; под общей редакцией д.т.н., проф.А.Ф.Ильюшенко.- Минск: Бестпринт,2002.-480с.
3. Хокинг М. Металлические и керамические покрытия /М.Хокинг, В.Васантагри, П.Сидки.-М.: Мир, 2000.-518с.
4. Зенкин Н.А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий /Н.А.Зенкин, В.И.Копылов.-Київ: Голов.спеціаліст.ред.літ мовами нац.меншин України, 2002.-272с.
5. Витязь П.А. Основы нанесения износостойких, коррозионно-стойких и теплозащитных покрытий /П.А.Витязь, А.Ф.Ильюшенко, А.И.Шевцов.- Минск: Белорусская думка, 2006.- 363с.
6. Копылов В.И. Формирование и свойства плазменных многофазных покрытий с наноразмерными составляющими /В.И.Копылов, И.В.Смирнов, И.А.Селиверстов.-К.:Наукова думка, 2019.-308с.
7. Состояние и перспективы создания композиционных порошков и покрытий с наноразмерными ингредиентами /Ф.И.Пантелеенко, Ф.Г.Ловшенко, А.В.Рогачев и др.// Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин. Минск.:VII, Технопринт, 2003.- С.14-15
8. Руденская Н.А. Плазменные покрытия на основе оксидов TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> с аморфно-кристаллической структурой /Н.А.Руданская, Г.П.Швейкин, В.И.Копылов // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Минск:VII «Технопринт», 2003.- С 78-80.
9. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения /Н.П.Лякишев, Н.П.Алымов// Российские нанотехнологии, 2006.-Т.1, №1-2.- С.71-81
10. Патент №544496 Україна. МПК (2009) В23К 10/00 - №544496, заявлено 20.05.2010, опубл.10.11.2010, бюл.№21
11. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов: Справочное пособие /А.Г.Добровольский, П.И.Кошеленко.-К.: Техника, 1989.-128с.