УДК 681.762:677.631.2

Ю.В. Куц
Луцький національний технічний університет

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПЛАКУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті проаналізовано основні методи плакування порошкових матеріалів. Огляд охоплює дослідження як відомих розроблених матеріалів, так і сучасних нових матеріалів. Наведено перспективні методи плакування, які пов'язані з використанням композиційних порошків.

Ключові слова: *плакування, порошковий матеріал, захисне покриття.*

Ю.В. Куц

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПЛАКИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье проанализированы основные методы плакирования порошковых материалов. Обзор охватывает исследования, как известных разработанных материалов, так и современных новых материалов. Приведены перспективные методы плакирования, связанные с использованием композиционных порошков.

Ключевые слова: *плакирования, порошковый материал, защитное покрытие.*

Yu. Kuts

THE REVIEW OF EXISTING METHODS CLADDING POWDER MATERIAL

The basic methods of cladding materials in powder article analyze. Review covers studies known as developed materials and modern new materials. Theperspectivemethods cladding methods given in the article related to the use of composite powders.

Keywords: *cladding, powder material, protective coating.*

Постановка проблеми. Проблемою сучасного машинобудування є підвищення надійності і довговічності поверхонь деталей під час контактної взаємодії в умовах тертя. Її вирішення визначається ефективністю захисту поверхневих шарів деталей машин, апаратів і, особливо, їх функціональних органів від різноманітного роду контактних руйнувань. У машинобудуванні широко застосовуються композиційні матеріали, сформовані з дисперсійних матеріалів, частки яких зв'язані металевою матрицею. Велика різноманітність дисперсійних матеріалів, виробництво яких освоєно промисловістю і не менший різновид матеріалів, придатних в якості матриці, дозволяє створювати безліч композиційних матеріалів [1].

Сьогодні певний дослідницький, науковий і комерційний інтерес вітчизняних і зарубіжних вчених, виробників спрямований на перехід до дослідження гібридних наноструктурних, макро,- і мікрогетерогенних, мезоструктурних градієнтних зносостійких покриттів.

Тому **метою** нашого дослідження є підвищення надійності і довговічності поверхні деталей, для уникнення різноманітного роду контактних руйнувань. Для цього необхідно розглянути різні методи плакування, нанесення металевих і неметалевих покриттів на порошки та готові поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні зарубіжні науковці використовують у своїх новітніх розробках спеціальні порошки заліза, плаковані органічними компонентами [2–4]. Деякі дослідження процесів отримання металевих плівок на порошкових матеріалах вакуумно-конденсаційними методами для певних галузей застосування описано в роботах [5, 6]. Так, Бобков В. В. та ін. співавтори роботи [5] осаджували металеві плівки на частинки порошку дисперсністю від 20 до 500 мкм магнетронним методом. Автори роботи [6] Шаронов Є. О. та ін. досліджували процес напилення міді на керамічний порошок SiO2 – FeOn вакуумно-дуговим методом для отримання хімічних каталізаторів. В роботі Смирнова І.В [7]. нанесення металевих плівок на порошок здійснювалось вакуумно-дуговим способом, який через свої фізико-технологічні особливості дозволяє формувати металеві плівки з високою швидкістю конденсації і міцністю зчеплення.

Основна частина. До захисних металевих покриттів висуваються наступні основні вимоги: вони повинні бути суцільними, непроникними, володіти високою міцністю зчеплення з основним металом, високою твердістю, зносостійкістю і рівномірно розподілятися по всій поверхні, на яку наносяться.

Розрізняють наступні методи нанесення захисних покриттів:

© Ю.В. Куц

1. гальванічний;
2. дифузійний;
3. розпилювання (металізація);
4. занурення в розплавлений метал (гарячий метод);
5. термомеханічний (плакування).

По механізму захисту розрізняють металічні покриття анодні і катодні (рис.1). Метал анодних покриттів має електродний потенціал більш негативний, ніж потенціал металу, що захищається. У разі застосування анодних покриттів не обов'язково, щоб воно було суцільним. При дії розчинів електролітів у виникаючому корозійному елементі основний метал—покриття основного металу є катодом і тому при достатньо великій площі покриття не руйнується, а захищається електрохімічно за рахунок розчинення металу покриття. Прикладами анодних покриттів є покриття заліза цинком і кадмієм. Анодні покриття на залізі, як правило, володіють порівняно низькою корозійною стійкістю і придатні тільки для захисту апаратури і споруд від атмосферної корозії або від дії води.

Катодні металеві покриття, електродний потенціал яких більш електропозитивний, ніж потенціал основного металу, можуть служити надійним захистом від корозії тільки за умови відсутності в них пор, тріщин і інших дефектів, тобто за умови їх суцільності, оскільки вони механічно перешкоджають проникненню агресивного середовища до основного металу. Прикладами катодних захисних покриттів є покриття заліза міддю, хромом і іншими більш електропозитивними металами.

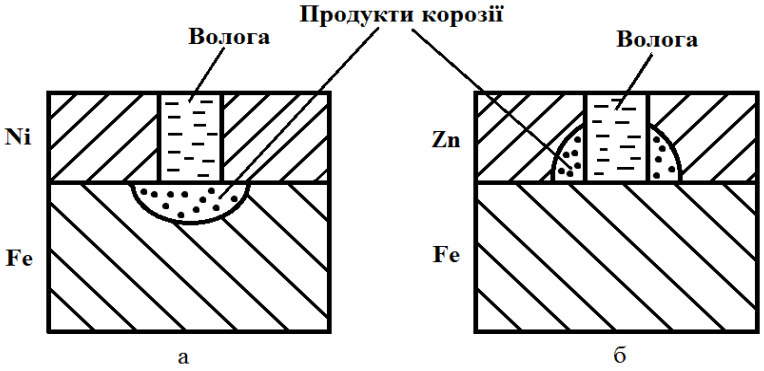

Рис. 1. **Схема корозії заліза з пористим катодним (а) и анодним (б) покриттям**

На рис. 2 показані типи структури поверхневих шарів при термомеханічному методі.

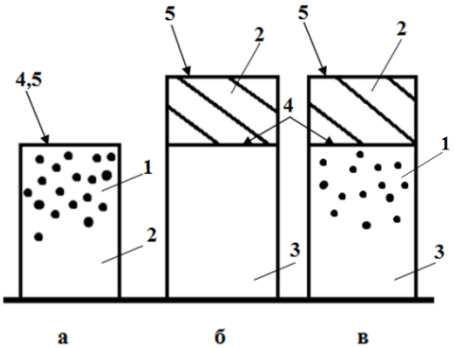

Рис. 2. **Схематичне зображення поверхневих шарів:**
а – тільки поверхневий шар, *б* – тільки покриття, *в* – поверхневий шар + покриття;
1 – поверхневий шар;
2 – покриття;
3 – основа;
4 – первинна поверхня деталі;
5 – остаточна поверхня деталі.

Термомеханічний спосіб (плакування) широко використовується для захисту від корозії основного металу або сплаву іншим металом(сплавом), який стійкий до дії зовнішнього середовища. З'єднання металів між собою проводять гарячою прокаткою, при якій утворюється

міцна сполука двох металів за рахунок дифузії одного металу в інший. Плакування отримують одно – і багатошарові метали [8].

Для плакування застосовують метали і сплави, що володіють доброю зварюваністю: вуглецеві, кислотостійкі сталі, дюралюміній, сплави міді та ін. В якості захисного покриття при плакуванні широко використовуються алюміній, тантал, молібден, титан, нікель, нержавіючі сталі та ін. Товщина плакуючого шару різна і коливається від 3 до 60% від товщини металу який захищають.

Відомо, що керування межею розділення фаз дає можливість істотно підвищувати властивості матеріалів. Одним із видів такого керування межею розділення є створення бар'єрних покриттів на порошках [9, 10]. При цьому кожне зерно(рис.3,4) чи кілька зерен разом покриваються шаром, що надалі є бар'єрним покриттям між частинками феромагнітної складової. На рис.4 ми можемо спостерігати плаковану частинку порошку NiAl і збільшену для наочності.

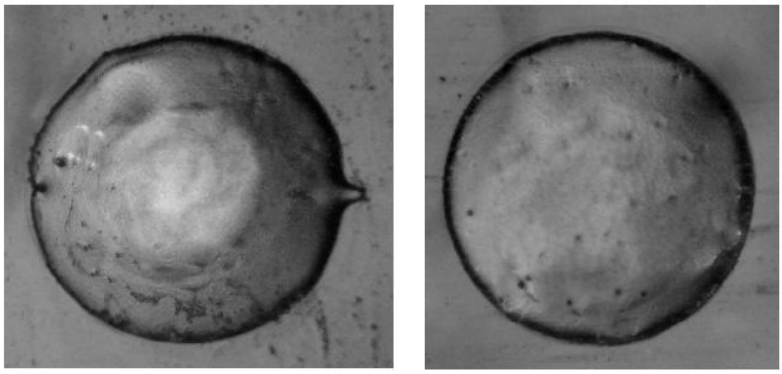

Рис. 3. **Частинки порошку Al_2O_3 плаковані титаном та алюмінієм при різних температурах(х 350)** [11]

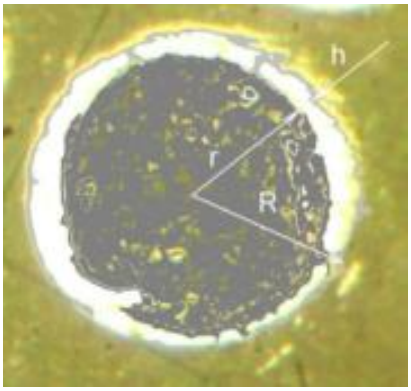

Рис.4. **Частинка порошку NiAl після плакування (х800)**[11]
r – радіус вихідної частинки,
R – радіус плакованої частинки;
h – товщина оболонки.

Відома низка методів нанесення металевих і неметалевих покриттів на порошки, такі як:

1. **хімічне** [12–16]
2. **електрохімічне осадження** [17]
3. **напилювання**[18, 19]
4. **випаровування і конденсація у вакуумі** [20]
5. **осадження з парової фази**, у тому числі з використанням методів газотранспортних реакцій,
6. **автоклавне відновлення металів з одночасним осадженням на поверхні введених порошків** [21, 22] і низка інших методів.

Проте не всі вони рівною мірою використовуються в техніці і промисловості. Одним із найбільш розповсюджених методів нанесення покриттів, є метод хімічного осадження. Даний метод відносно недорогим, не потребує спеціального дорогого устаткування, дозволяє одержувати якісні покриття із нікелю, міді, кобальту, хрому, що мають високе зчеплення з поверхнею матеріалу, який покривається.

Як вже було сказано, що існують різноманітні технології одержання композиційного порошку, в тому числі й з плакованою оболонкою [23, 24]. Такі способи плакування порошків мають свої переваги і недоліки. Наприклад, ***поверхневе електролітичне осадження металів*** не дає можливості безпосередньо плакувати не електропровідні порошки, оскільки потрібна попередня металізація їх іншими способами. Виключається також можливість плакування порошків карбідами, нітридами та іншими твердими сполуками. ***Хімічна металізація*** порошків дозволяє формувати одно - і багатокомпонентні шари на різних порошкових матеріалах. Недоліком цього способу є необхідність промивання і сушіння порошків. Така технологія, як ***карбонільна технологія*** нікелювання порошків ефективніша за швидкістю осадження, ніж процес хімічного нікелювання, але складніша в апаратурному оформленні. Крім того, ці методи не забезпечують екологічну чистоту, високу хімічну чистоту осаду і надійне зчеплення металевої оболонки з частинкою — ядром порошку. Альтернативою хімічним і гальванічним методам на сьогодні є сучасний ***золь-гель процес*** модифікування порошків із своїми особливостями [25]. При золь-гель-технології вихідні компоненти повинні перебувати в рідкому стані або являти собою розчини необхідних твердих сполук. Для отримання колоїдних розчинів (золів) і їх структуроутворення необхідне ретельне змішування при правильному виборі дозування. Процес ускладнюється подальшою сушкою, видаленням вологи і вибором режимів відпалу. Зазначених недоліків значною мірою позбавлені способи випару і конденсації металів у вакуумі [26—28]. Методи ***вакуумної металізації*** завдяки своїй універсальності відкривають можливості одержання нових видів композиційних матеріалів і покриттів. Серед поширених вакуумних технологій конденсації металевих плівок особливе місце посідає ***метод іонно-плазмового розпилення*** металів в умовах дугового розряду [29—33]. Цей перспективний, розроблюваний метод плакування порошків завдяки своїм фізико-технологічним можливостям дає змогу забезпечувати рівномірну металеву оболонку з високими швидкостями осадження і часткою металевого конденсату до 25 %. При цьому можна формувати складні композиції кераміки з різними зв'язками, в тому числі й при пошаровому осадженні різних металів. Такі можливості дозволяють застосовувати плаковані порошки для різних цілей: створення нових хімічних каталізаторів; одержання композиційних матеріалів пресуванням і спіканням композиційних порошків, наприклад, для виготовлення різального інструменту; одержання псевдосплавів з підвищеними властивостями на міцність, зокрема сплавів на основі алюмінію з дисперсним зміцненням плакованими частинками; отримання композиційних пластмас; створення газотермічних та інших покриттів із спеціальними властивостями [33].

На даний час для плакування порошків використовуються, дорогі і дефіцитні метали (Co, Ni, Mo) з низькою адгезією до керамічного ядра, що у певних випадках призводить до згортання або здування оболонки в процесі напилення і як наслідок до погіршення властивостей напилених покриттів [34]. Забезпечення надійного зчеплення металевої оболонки з керамічним ядром порошку можливо шляхом застосування перехідних шарів з хімічно активних металів, а також методів фізичного осадження у вакуумі.

Недоліками плакування частинок порошку є дороговартість методу і прискорена корозія. Цей спосіб часоємний, який потребує проходження багато операцій. В порівнянні з плакуванням пресованого порошку є низька механічна міцність, тому цей метод більше використовують для виготовлення магнітно - м'якого матеріалу.

У подальших публікаціях планується більш детально розглянути плакування спресованих поверхонь з порошкових матеріалів (рис.5).

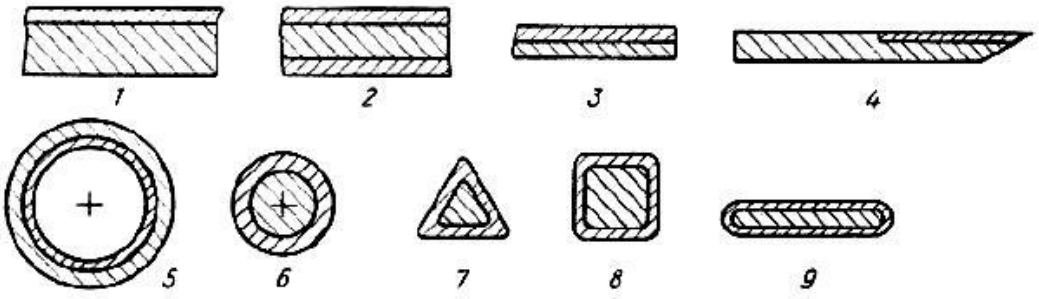

Рис. 5. **Зразки плакованих виробів**
1, 2 – плакований лист 3 – термобіметал 4 – ножовий біметал
5 – плакована труба 6-9 – плаковані пруткова сталь,дріт, сортові.

© Ю.В. Куц

Метод плакування забезпечує високе виробництво технологічних процесів, високу адгезію, відсутнє обмеження на товщину з'єднуваних матеріалів. А також підвищення якості плакованого матеріалу можна забезпечити за рахунок додаткової термічної обробки.

Висновки. Як видно з цієї статті існують різноманітні методи плакування порошкових матеріалів. Деталі конструкційного та триботехнічного призначення в різноманітних вузлах і механізмах піддаються зношуванню, тому різноманітні методи плакування використовуються з метою вирішення цієї проблеми. Актуальним є нанесення комбінованого захисного покриття, що значно підвищить зносо- та корозійну стійкість деталей. Нанесення покриттів надасть можливість захистити деталі від спрацювання та підвищити їхню довговічність.

1. Федорченко М.И. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, область применения / М. И.Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский и др. – К.: Наук. думка, 1985. - 624 с.
2. Y. Shimada et al. Development of high performance sintered soft magnetic material // Powder Metall. – 2006. – Vol. 53, № 8. – P. 686–695.
3. Kazuo Asaka. Soft magnetic materials and their applications. Euro PM 2000. Soft magnetic material workshop, Munich, october 2000. – P. 45–51.
4. Lars – Olof Pannander, Alan Jack. Soft magnetic iron powder materials AC properties and their application in electrical machines. Euro PM 2003, Valencia, 22–23 October 2003. – P. 25–28.
5. Бобков В. В., Глушко В. И., Рябчиков Д. Л., Алимов С. С., Старовойтов Р. И. Конденсация металлических пленок на дисперсных материалах // В кн. «Физические явления в твердых телах». Материалы 3 международной конференции «Физические явления в твердых телах», 1997. – Харьков – С. 179.
6. Шаронов Е. А., Ванновский В. В., Алексеев С. В. Вакуумно-дуговое напыление меди на порошок керамики SiO2 – FeOn // Труды 6-й междунар. Конференции «Пленки и покрытия – 2001». – СПб: Изд. СПбГТУ. – 2001. – С. 146-149.
7. І. В. Смирнов , М. А., О. В. Багатоканальна система автоматизації роботи установки вакуумно-дугового напилення// «Восточно-Европейский журнал передовых технологий» , ISSN 1729-3774 1/5 (61) 2013
8. В.К.Король, М.С.Гільденгорн В«основи, технології виробництва багатошарових металівВ» видавництво В«МеталургіяВ», 1970.
9. V.A. Maslyuk, O.A. Panasyuk, H. Danninger, V.G.Lyulko, A.V. Minitsky, L.M.Apininska. Origination and investigation of properties of powder magneticsoft materials, based on the iron powders, clad with metal and non-metal components // Euro PM 2004. Austria Centre, Vienna, Austria 17-21 oct. 2004. – Vol. НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НОВІ МАТЕРІАЛИ Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2011 (67). Частина 1 82 4. – P. 577–581.
10. Маслюк В.А., Панасюк О.А., Апининская Л.М., Вергелес Н.М., Миницкий А.В. Плакирование порошков как один из методов получения композиционных материалов с заданными свойствами // Тез. докл. Межд. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях» Кацивели, Крым, Украина, 13–17 сент. 2004.– С. 152.
11. Смирнов І. В.,Чорний А. В., Зіберов Л.М. Відновлення емалевих покриттів плазмовим напиленням плакованих порошків // Збірник наук праць НУК. – 2009. – № 1. – С. 45.
12. Вишенков С.А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий. – М.:Машиностроение, 1975. – С. 310.
13. Картвелешвили И.М., Терентьев А.Е., Ильченко Н.С. Автоклавное плакирование порошков алюминия и карбида вольфрама никелем // Порошковая металлургия. – 1990. – № 6. – С. 16–18.
14. Пат. № 3457995 Япония, МКИ С23 С14/22. Способ и установка для нанесения покрытий на частицы тонкого порошка / Nishin Steel Co. Ltd, Japan.Takeshima E. № 140636/88 Заявл. 09.06.1988. Опубл.13.12. 1989.
15. А.с. № 1685601 СССР, МКИ В22 1/02. Способ нанесения никелевого покрытия на порошки. Ин-т химии поверхности АН УССР / Голодный Ю.Ф., Загоровский Г.М., Оченко В.М. и др. № 4781260/02 Заявл. 04.12.1989. Опубл. 23.10.1991.
16. Chi K., Hu C., Wang H. Химическое меднение порошков водородадсорбирующего сплава // Dianchi Batarey Bimon. – 1995. – V. 25, № 5. – P. 224–227.
17. Guan C. Исследование технологии электро-осаждения аморфного Ni – P покрытия на поверхность искусственных алмазов // Diandu Yu Jingshi = Plat and finish. – 1994. – V. 16, № 1. – P. 13–15.
18. Ramaseshan R., Nair N.G., Seshadri S.K. Magnetic moment studies on nickel coated titanium powders // J.Mater. Sci. Lett. – 1997. – V. 16, № 17. – P. 1441–1443.
19. Moustafa S.E., El-Badry S.A., Sanad A.M. Effect of graphite with and without cooper coating on consolidation behaviour and sintering of cooper // Powder met. – 1997. – V. 40, №3. – P. 201–206.
20. Мовчан Б.А., Малашенко И.С. Жаростойкие покрытия осаждаемые в вакууме / Под ред. Б.Е. Патона; Ин-т электросварки им. Е.О.Патона. – К.: Наук. думка, 1983. – С. 231.
21. Найдич Ю.В., Колесниченко Г.А., Костюк Б.Д. Металлизация порошков распылением металла с помощью электронно-лучевого нагрева // Порошковая металлургия. – 1973. – № 9. – С. 91–93.
22. Heck F.W., ReesE.L., Koehler L.F. The use of the carbonyl nickel gas process to nickel coat particulate materials // Int. Conf. Powder met., London, 2–6 july 1990. – V.2. – P. 40–46.
23. Вишенков *С.А.* Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий. — М: Машиностроение, 1975. — 312 с.
24. Плакирование порошков тугоплавких соединений методом химического осаждения / В.В. Ващенко, О.Н. Голубев, С.П. Светухин, А.Г. Цидулко // Температуроустойчивые функциональные покрытия. — Тула: Наука, 1985. — С. 131—134.
25. Хамова Т.В., Шилова О.А., Голикова Е.В. Исследование структурообразования в золь-гель системах на основе тетраэтоксисилана // Физ. и хим. стекла. — 2006. — **32**, № 4. — С. 615—631. 20 Наукові вісті НТУУ "КПІ" 2009 / 3

26. Костржицкий А.И., Лебединский О.В. Многокомпонентные вакуумные покрытия. – М.: Машиностроение, 1987. — 208 с.
27. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.П. Артадовская. — К.: Наук. думка, 1987. — 544 с.
28. Мовчан Б.А., Малашенко И.С. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. — К.: Наук. думка, 1983. — 232 с.
29. Хороших В.М. Стационарная вакуумная дуга в технологических системах для обработки поверхностей //Физическая инженерия поверхности. — 2003. — **1**, № 1. — С. 19—26.
30. Денбновецкий С.В., Барченко В.Т., Шмырева Л.Н. Физические основы генерации плазмы в ионно-плазменных устройствах технологического назначения: Учеб. пос. — К.: УМК ВО, 1989. — 152 с.
31. Пустотина С.Р., Новиков Н.Н., Глухова П.К. и др. Исследование свойств металлизированных порошков тугоплавких соединений и плазменных покрытий на их основе // Температуроустойчивые покрытия: Тр. XI всесоюз. совещ. по жаростойким покрытиям, Тула, 1983. — Л.: Наука_, 1985. — С. 157—161.
32. Новиков Н.Н. Особенности поведения дисперсных материалов при их металлизации в вакууме / Рук. деп. Укр. НИИНТП от 12.09.87. — 20 с.
33. Шаронов Е.А., Ванновский В.В., Алексеев С.В. Вакуумно-дуговое напыление меди на порошок керамики SiO2—FeOn // Тр. 6-й Междунар. конф. “Пленки и покрытия — 2001”. — СПб.: СПбГТУ, 2001. — С. 146—149.
34. Борисов Ю. С. Межфазное взаимодействие в частицах композитных порошков при плазменном напылении. – В сб. Жаростойкие покрытия для защиты конструкционных материалов. – Л.: Наука. – 1977. – С. 147-151.