

В.Н. Радзівський, д.т.н., проф., А.Ф. Будник, к.т.н., доцент, Є.А. Петренко, магістр (Сумський державний університет, Україна)

Особливості створення композиційного матеріалу з металевою матрицею в об'ємі довільної форми

Приведені результати дослідження формування композиційного матеріалу при просоченні розплавом металу порошку, що знаходиться в насипному стані в технологічному об'ємі довільної форми. Показані приклади промислового застосування методу.

Ключові слова: композит, порошок, розплав, матриця, відновлення оксидів, зв'язуюча речовина, розчинник, паста, форма, властивості.

Приведены результаты исследования формирования композиционного материала при пропитке расплавом металла порошка, который находится в насыпном состоянии в технологическом объеме произвольной формы. Показаны примеры промышленного применения метода.

Ключевые слова: композит, порошок, расплав, матрица, восстановление оксидов, связывающее вещество, растворитель, паста, форма, свойства.

Results over of research of forming of composition material are brought at saturating with fusion of metal of powder that is in the bulk state in the technological volume of free-form. The examples of industrial application of method are shown.

Keywords: compo, powder, fusion, matrix, renewal of oxides, relating substance, solvent, paste, form, properties

У машинобудуванні широко застосовуються композиційні матеріали, що сформовані з металевих порошків, частинки яких з'єднані металевою матрицею. Виготовлення виробів з таких матеріалів здійснюється в порошковій металургії з застосуванням різних методів їх створення [1]. В основі одного із них є просочення розплавом металу заготовок із заздалегідь спресованих і потім спечених дисперсійних матеріалів.

Типовий технологічний процес виготовлення деталей методом порошкової металургії складається з наступних основних операцій: змішування, формування, спікання і калібрування. Змішування є підготовчою операцією. Включає в себе приготування однорідної механічної суміші з металевих порошків різного хімічного і гранулометричного складу або суміші металевих порошків з неметалевиими. Після цього проводять формування. Формування виробів здійснюється холодним пресуванням під великим тиском в металевих формах. Зазвичай використовуються жорсткі закриті прес-форми.

Прес-порошок брикетується в порожнині матриці між пуансонами. Для формування використовується спеціалізоване пресове обладнання з механічним, гідравлічним або пневматичним приводом. Отримана заготовка має розмір і форму готового виробу, а також достатню міцність для перевантаження і транспортування до печі для спікання. Печі для спікання – спеціалізовані, вони мають відновлюючу або захисну нейтральну атмосферу. Процес спікання відбувається при твердому стані часток порошку з появою рідкої фази матеріалу, що входить до складу суміші в якості матриці [2].

Представляється доцільним просочення порошків, які знаходяться у вільному насипному стані, що виключає застосування дорогого устаткування для пресування. Потрібне лише обладнання для нагрівання порошку, плавлення металу матриці і технологічне оснащення для здійснення операції просочення. Формування металу відбувається в чотири стадії: спікання порошку (наповнювача) у технологічній формі, заповнення її розплавом,

взаємодія його з наповнювачем і кристалізація. Спікання частинок супроводжується зближенням поверхонь, збільшенням площі їх контакту під дією капілярного тиску [3].

Велика розмаїтість порошків, виробництво яких освоєно промисловістю, і не менший різновид матеріалів, придатних в якості матриці, дозволяє створювати безліч композиційних матеріалів. Для створення таких матеріалів необхідно поєднання порошку і матриці, матеріал якої має більш низьку, ніж у порошку, температуру плавлення.

Мета роботи – створення технології формування композиційного матеріалу при просочуванні порошків у вільному насипному стані в одноразових технологічних формах з недорогих матеріалів, або шару порошків, що знаходяться на поверхні металу. Для досягнення мети необхідно дослідити як формується каркас із часток порошку наповнювача перед просоченням і взаємодію твердої і рідкої фаз при регламентованій температурі процесу.

Формування об'єкту із порошків для наступного просо-

чення розплавом матриці може виконуватись такими методами:

- наповнювач розміщується в технологічній формі, яка після просочення, кристалізації і охолодження відділяється від виробу без її руйнування;

- наповнювач розміщується в технологічній формі, його частки тимчасово з'єднані технологічною речовиною, яка при просоченні випаровується, а матеріал форми сублімує;

- із наповнювача створюють пасту, в якій частки порошку з'єднані технологічною речовиною, що при просоченні переходить в газову фазу і видаляється в атмосферу.

При застосуванні методів з заповненням форми порошком потрібна характеристика процесу для різного виду порошоків. Металеві порошки в залежності від способу їх виготовлення мають різні форми часток і дисперсність. Ступінь заповнення об'єму форми порошком залежить від цих чинників, а вони обумовлені способом його виготовлення. Відомо, що найбільш щільне заповнення об'єму можна здійснити частинками тетраедричної форми. Оптимальне заповнення можна отримати при застосуванні ідеальних куль трьох розмірів, що вписуються в утворені між кулями порожнини. У цьому випадку заповнення об'єму може досягати 65% [4]. Однак форма реальних порошоків далека від ідеальної.

У табл.1 представлені способи виготовлення порошоків і їх основні характеристики.

Найбільш характерний зовнішній вигляд частинок можна представити на прикладі деяких залізних порошоків (рис. 1).

Можливість застосування порошку для процесу просочення розплавом оцінюється його розчинністю в розплаві і довжиною переміщення розплаву в порошок. З цієї оцінки дрібно дисперсні порошки, виготовлені дисоціацією карбонілів, відновлені з розчинів солей воднем або електролізом, обмежено придатні для просочення розплавом через малу протяжність переміщення розплаву в них.

Металевий порошок характеризується насипною щільністю, яка визначається при вільному заповненні об'єму

Таблиця 1. Способи виготовлення і характеристики металічних порошоків

Спосіб виготовлення	Матеріал	Розмір частинок, мм	Форма частинок
Дисоціація карбонілів	Fe, Ni, Cu, Mn, W	0.0001 – 0.02	Куля, пластина
Відновлення воднем розчинів солей	Fe, Ni, Cu	0,005-0,02	Кристал, пластина
Електроліз розчинів солей	Fe, Ni, Cu, Co	0,005-0,02	Кристал
Металотермічне відновлення оксидів гідридом кальцію	Cr, Ta, Zr, Ti	0,02 – 0,16	Кристал
Відновлення оксидів активними газами	Fe, Ni, Cu, Co, Mo	0,02 – 0,16	Кристал, губка
Розпорошення металевих розплавів струменем газу	Fe, Ni, Cu, Al	0,02 – 2	Куля
Механічне подрібнення стружки, дроту, конгломерату	Fe, Ni, Cu, Cr	0,1 - 2	Циліндр, кристал

під власною вагою. Однією з умов однорідності властивостей композиційного металу є рівномірне заповнення об'єму наповнювачем. Рівномірність може бути забезпечена при повному, тобто без макропустот, його заповненні. Утворення макропустот усувається застосуванням вібрації, ударами, струшуванням і іншими технологічними операціями. Наявність цих операцій, що викликають примусове взаємне переміщення частинок, не дозволяє користуватися насипною щільністю для характеристики заповнення об'єму. Для

цього обрано коефіцієнт заповнення K_z , який визначається як відношення ваги наповнювача, що знаходиться в об'ємі, до ваги компактного металу наповнювача в такому ж об'ємі [5]. Досліджували порошки з різною формою частинок – губчастої (залізо відновлено із окалини марки ПЖЗ, рис. 1, б), і кулястої (розпорошена азотом сталь ХН2, рис. 1, в). З табл. 2 видно, що K_z при губчастій формі частинок порошку невеликий, його значення підвищується при збільшенні їх розміру. У порошках зі сферичною формою частинок, отриманих розпиленням стис-

Таблиця 2. Залежність K_z від грануляції частинок порошку

Коефіцієнт заповнення	Розмір частинок, мм				
	0,06-0,1	0,16-0,2	0,16-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
K_z губчастого	0,36	0,36	0,37	0,39	0,45
K_z кулястого	0,58	0,59	0,59	0,59	0,56

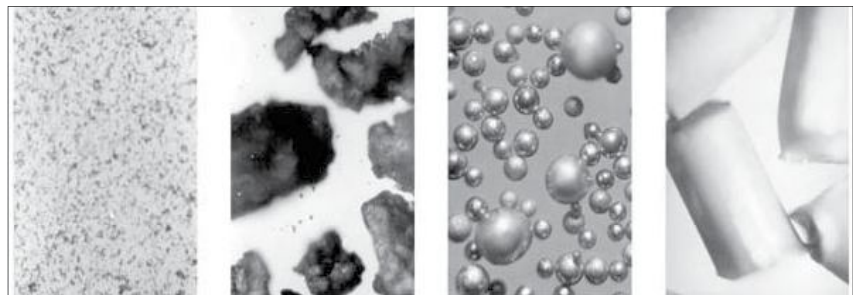


Рис. 1. Зовнішній вигляд залізних порошоків, x50: а – карбонільне залізо, б – залізо, відновлене з окалини ПЖ; в – сталь ХН2, розпорошена азотом; г – дискретні волокна із дроту $\varnothing 0,3 \times 1$ мм

ним азотом, вплив грануляції інший. Зі збільшенням розміру частинок Кз зменшується.

Це пов'язано із збільшенням кількості частинок з деформованою, відмінною від сферичної, формою (рис. 2).

Для формування виробів в технологічній формі, а також для приготування пасти із порошку наповнювача застосовують розчин зв'язуючої речовини в органічних розчинниках, які при нагріванні випаровуються, а зв'язуюча речовина на необхідному етапі з'єднує часточки порошку адгезивними силами. Розчин зв'язуючої речовини має властивість змочувати поверх-

ню металу наповнювача. При просоченні порошку, що знаходиться в насипному стані, рідкою фазою розчину капілярні сили ущільнюють порошок в формі.

При приготуванні технологічної пасти із порошку наповнювача і розчину зв'язуючої речовини суміш ретельно перемішують до утворення пластичного стану необхідної щільності.

Склад композицій матеріалів, які доцільно використовувати в якості зв'язуючих речовин, приведено в табл. 3.

Сополімер БМК-5($C_7H_{12}O_2$), марок А і Б являє собою сополімер метакрилової кислоти і бутилового ефіру метакрилової кисло-

ти, отриманий суспензійним методом. Розчиняється в ацетоні, толуолі, бутилацетаті та ін..

Сфера застосування: для виготовлення лаків, емалей, клеїв і в якості сполучного компонента при виготовленні розчинів з наповнювачами (металом, цементом та ін). Марка А застосовується в авіаційній промисловості, також для покриття виробів, що працюють в умовах високої вологості і в морській воді, а марка Б – в хімічній, приладобудівній та електрохімічній промисловості. Деякі характеристики сополімера БМК марок А і Б наведено в табл. 4.

Особливість розчину акрилової смоли в тому, що він дозволяє на тривалий час для проведення операції зберігати суміш у пастоподібному стані. При цьому можна сформувати будь-які форми, приклад наведено на рис. 3.

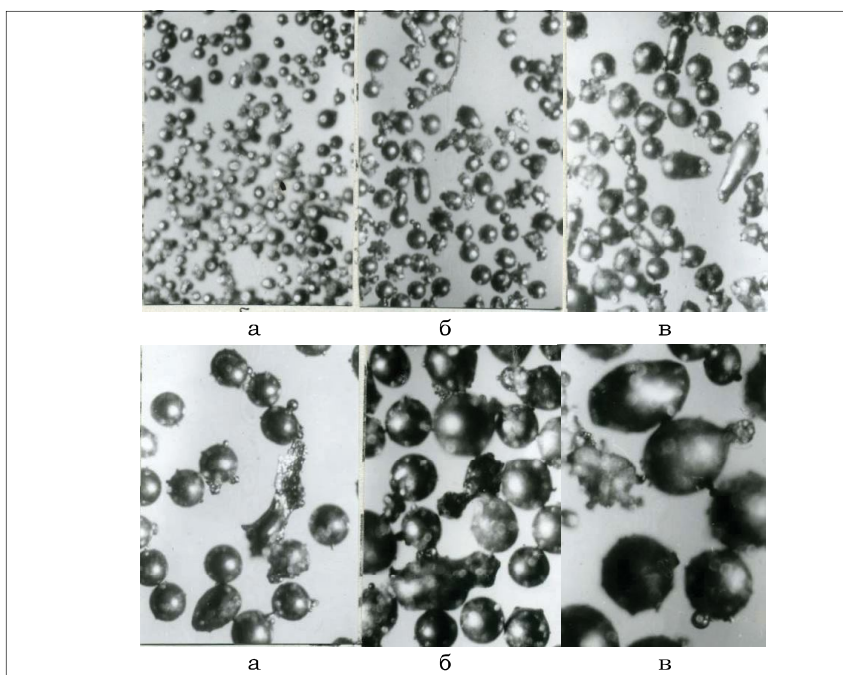
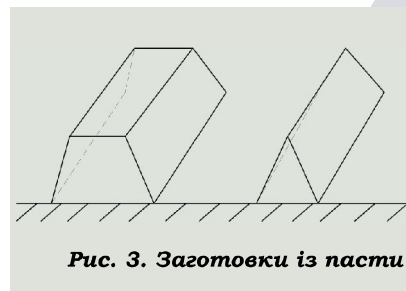


Рис. 2. Зовнішній вигляд порошку зі сталі ХН2, розпиленої азотом. х50. Грануляція: а) - 0,05 - 0,06; б) - 0,06 - 0,1; в) - 0,1 - 0,16; г) - 0,16 - 0,2; д) - 0,2 - 0,3; е) - 0,3 - 0,4 мм



Формувати заготовки з пасти можна слюсарним інструментом, а також за допомогою заповнення форми із целюлози.

Целюлоза ($C_6H_{10}O_5$) – біла тверда, стійка речовина, не руйнується при нагріванні до 200 °С, є горючою речовиною, температура займання 275 °С, температура самозаймання 420 °С. Вона нерозчинна у воді і слабких кислотах. Сама речовина являє собою довгі волокна, що містять 300 – 10000 залишків глюкози, без бічних відгалужень. Ці волокна з'єднані між собою безліччю водневих зв'язків, що надає целюлозі велику механічну міцність при збереженні еластичності. В промисловості целюлозу одержують методом варіння подрібненої деревини на целюлозних заводах. Постачається целюлоза в вигляді пластин і стрічки різної товщини, з яких легко можна виготовити технологічну форму.

Таблиця 3. Склади розчинів для закріплення часточок порошку наповнювача

№	Назва зв'язуючої речовини	Назва і вміст(%) розчинника	Вміст зв'язувача у розчині, ваг(%)
1	Сополімер бутилового ефіру метакрилової смоли БМК-5 ОСТ 6-01-26-75	Р-5 ГОСТ 7827-74	5
		Р-649 ТУ 6-10-1358-78	
		Ксилол 40 ГОСТ 9949-78 Ацетон 30 Бутилацетат 30 ГОСТ 8981-78	
2	БМК-5	Р-5 або Р-649	10
3	Етилцелюлоза ТУ 6-53-52-91	Ксилол 80 Спирт етиловий 15 Бутанол 5 ГОСТ 6006-78	15
4	Сополімер ТБМ-60 ТУ 6-01-737-85	Бутилацетат	25

Таблиця 4. Технічні характеристики сополімера БМК-5

БМК-5	Марка сополімера	
	А	Б
Зовнішній вигляд	Бісер білого або злегка жовтуватого кольору	
Зовнішній вигляд розчину сополімера в розчиннику марки Р-649	Безбарвний або злегка жовтуватий. Допускається слабка опалесценція і наявність невеликої кількості механічних домішок	
Масова частка води, %, не більше	2	
Питома в'язкість розчину сополімера в ацетоні з масовою часткою 0,5%	0,16 - 0,25	0,25 - 0,40
Молекулярна маса, а. о. м	128,17	
Температура плавлення, °С	64	
Температура кипіння, °С	147,4	

При нагріванні в вакуумі целюлоза розкладається і у стані газової фази видаляється із камери вакуумної печі насосами, залишаючи сформовану деталь із порошку, яка зафіксована розчином сполучної речовини. При нагріванні у вакуумі сполучна речовина сублімує при температурі 350-400°С, а сформована деталь утримується адгезивними силами і дифузійним з'єднанням в контактах поверхонь часточок порошку.

В початкових технологічних операціях в сформованих деталях із пасти, а також в заготовках в формі із целюлози наповнювач з'єднаний зв'язуючою речовиною. Розчинник зв'язуючої речовини можна випаровувати при тривалому (десятьки годин) просушуванні в нормальних умовах на повітрі, або для прискорення процесу – в сушильних шафах.

Сформовані просушені заготовки проходять ряд технологічних операцій – складування, транспортування, розміщення в камері печі для нагрівання. Для визначення технологічних можливостей просушених заготовок проведені досліді з навантаженням зразків після просушування просоченого порошку при температурах 100 і 200°С (рис. 4).

В досліді використані порошки з формою і розміром часток:

1 – залізний карбонільний, пластинки 10-30 мкм;

2 – стеліт АН34 (ПР-КХ30Н6 ВСР), розпилений азотом, куляста, 200-400 мкм;

3 – суміш 98%+2%С стеліту АН34 (ПР-КХ30Н6ВСР), розпоршеного азотом, кулястої форми

200-400 мкм з сажистим вуглецем (5-10 мкм)

Досліді показали, що заготовки після просушування для ви-

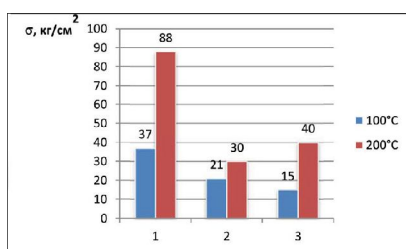


Рис. 4. Механічні властивості циліндричної заготовки із порошку, що зв'язаний розчином акрилової смоли, після просушування при температурі 100 і 200 °С

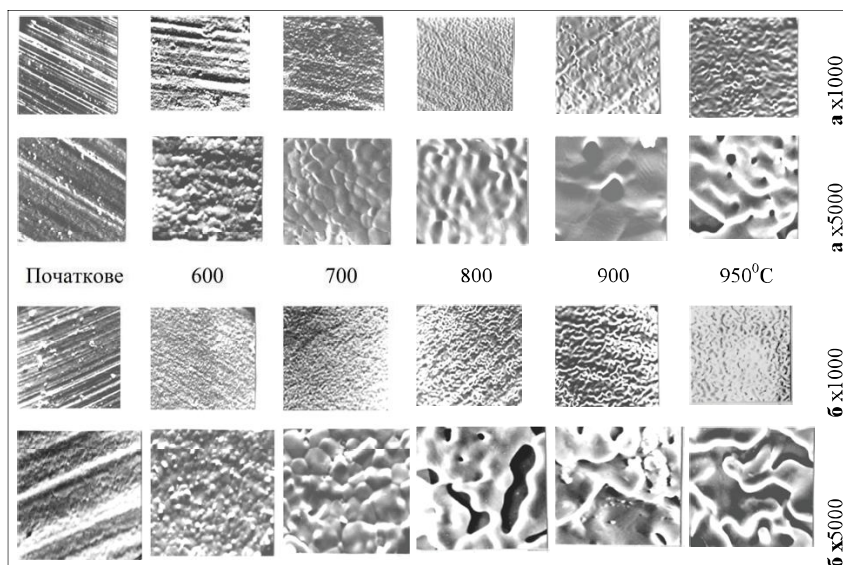


Рис. 5. Зміна рельєфу оксидної плівки на сталі 45 (а) і сталі У8 (б) після нагрівання в вакуумі

далення розчинників мають достатню міцність для здійснення технологічних операцій. Використання суміші порошків кулястої форми з дисперсним порошком з мікронними розмірами часток сприяє збільшенню міцності просушених заготовок.

При нагріванні в вакуумі на поверхні металевих порошків, що застосовуються в якості наповнювачів, відбуваються окислювально-відновні реакції вуглецем оксидних паївок, які утворюються при виготовленні порошку і при технологічних операціях приготування пасти та формування деталей.

Зміна рельєфу плівки досліджена на шліфованих зразках із вуглецевих сталей, що були окислені при температурі 400°С, представлена на рис. 5. У початковому окисленому стані плівка щільна, повністю повторює рельєф поверхні. При температурі 600°С плівка стає горбистою, потовщується і згладжує рельєф поверхні. На плівці з'являються тріщини і надриви. Це пов'язано зі структурними перетвореннями в плівці з протіканням реакції відновлення оксидів заліза вуглецем з утворенням СО, СО₂ і плівки чистого заліза.

Утворення відновленої плівки чистого металу з рельєфною поверхнею сприяє формуванню металевого зв'язку в щільному контакті двох поверхонь, на яких відбувається

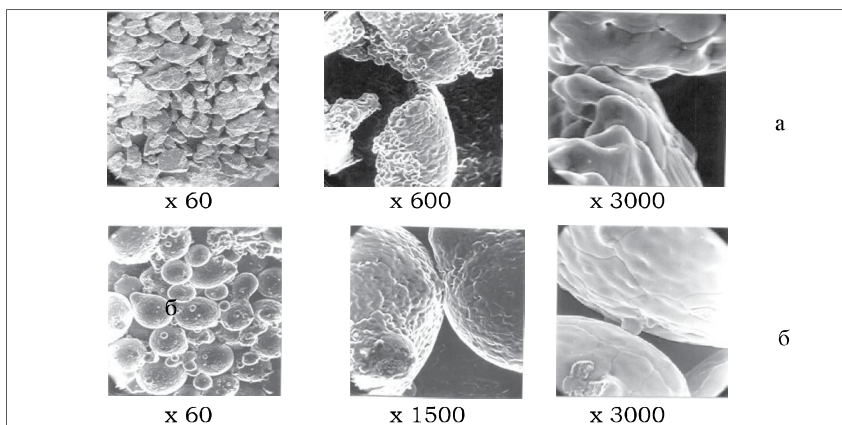


Рис. 6. Контактні перетинки, що утворилися при нагріванні у вакуумі, в залізо-нікелевому порошку з частинками губчастої (а) і кулястої (б) форм

процес окислення-відновлення. На рис. 6 показано місця зрощених в контактні поверхонь частинок порошку різної форми при нагріванні.

Такі з'єднання утворюють міцні зв'язки частинок наповнювача між собою і формують нерухомий каркас. Розплав матриці, переміщуючись в лабіринті капілярних каналів між частинками наповнювача, не переміщує їх під дією капілярних сил. Це дозволяє керувати збіжністю розплаву в наповнювачі. На рис.7 показана мікроструктура композиту, утвореного залізо-нікелевим наповнювачем зі сферичною формою частинок. Перетинки між частинками, що утворилися при дифузійній взаємодії відновлених оксидних плівок, збереглися при просоченні розплавом матриці. Особливості процесу окислення-відновлення оксидної плівки дозволяють цілеспрямовано керувати формуванням композиційного металу. При відповідному виборі складу порошку, зокрема кількості вуглецю в ньому, можна застосувати регламентоване температурним режимом попереднє окислення порошку для створення оксидної плівки необхідної товщини. Це дозволить створити при відновленні необхідну структуру каркаса в композиційному металі. Для активації процесу відновлення оксидів доцільно використовувати технологічну суміш порошку окисленого наповнювача з порошком сажистого вуглецю, мілкодисперсні часточки якого міцно утримуються адгезивними силами на поверхні оксидів. Од-

ночасна дифузія вуглецю в оксидну плівку з металу порошку наповнювача і з поверхневих часточок сажі значно прискорює процес відновлення оксидів при нагріванні в атмосфері без кисню.

Створення нерухомого каркаса з частинок наповнювача дозволяє заповнити розплавом під дією капілярних сил весь об'єм заготовки або форми і при ізотермічній витримці сформувати щільний композиційний метал. Формування композиційного

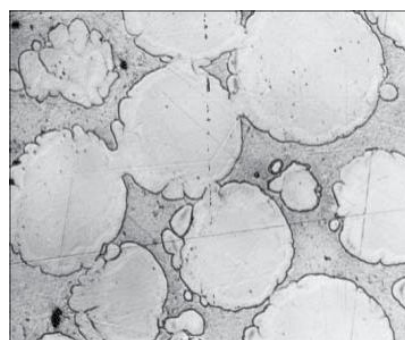


Рис. 7. Мікроструктура композиційного металу з залізо-нікелевого наповнювача з кулястою формою частинок, x200

Таблиця 5. Механічні властивості композиційного металу з залізо-нікелевим наповнювачем при просоченні сплавами на мідній основі

Властивості	Основа сплаву, температура просочення, °С			
	Cu-Zn, 980	Cu- Mn-Ni, 1020	Cu, 1100	Cu-Ni, 1160
σ_B , МПа	450	610	580	570
a_{11} , Дж/см ²	13	60	11	90

матеріалу складається з вибору і підготовки порошку наповнювача, створення деталі із пасти або заповнення технологічної форми, нагрівання до температури просочення, заповнення розплавом матриці наповнювача та наступної кристалізації.

Можливість формування реальних виробів із композиту залежить від довжини переміщення розплаву матриці в каркасі з наповнювача. Вона залежить від дифузійної взаємодії в кожній комбінації складів матриці і наповнювача, а також від дії капілярних і зовнішніх сил - гравітації та технологічного тиску - на розплав матриці при просоченні.

Кожна складова багатofакторного процесу формування просоченням порошку в стані вільного заповнення технологічної форми суттєво впливає на кінцевий результат - властивості композиту.

Властивості композиційного матеріалу досліджували при просоченні каркасу із різних порошків сплавами на мідній основі, що мають невисоку температуру плавлення. Структури, які можна сформувати при цьому, показані на рис. 8.

Вплив структури на механічні властивості композиційного металу, сформованого сплавами на мідній основі при просоченні залізо-нікелевого порошку, представлено в табл. 5.

Аналіз наведених в табл. 5 результатів механічних випробувань композиційного металу показує, що комплекс його механічних властивостей на рівні низьколегованих сталей - міцність і в'язкість - забезпечує застосування сплавів на мідній основі, що мають порівняно невисоку температуру плавлення.

При застосуванні наповнювача, нерозчинного або незначно розчинного в розплаві матриці,

формується гетерогенна структура, яка обумовлює невисокі пластичні властивості металу (рис. 8, а). Форма частинок наповнювача (кристал, куля, циліндр) мало впливає на властивості. Втомна міцність такого металу низька і знаходиться на рівні властивостей сірого чавуну [6]. Аналогічну гетерогенну структуру має метал при просоченні залізного порошку латунню. Підтверджуються дані роботи [7], що при розмірі частинок порошку > 50 мкм залізний наповнювач можна вважати нерозчинним в латуні.

При застосуванні наповнювача, розчинного в сплаві матриці, утворюється структура з оплавленими частками (рис. 8, б). При формуванні металу розплавом латуні з нікелевим наповнювачем розчинення його в латуні утворює однофазну матрицю шва, а активна дифузія міді і цинку в наповнювач призводить до ізотермічної кристалізації із зникненням рідкої фази при температурі просочення. У таких композиціях наповнювач – сплав збільшення часу витримки при температурі просочення відводить з матриці елемент, що знижує температуру плавлення сплаву (депресант Zn) з істотним підвищенням її міцності. При певному складі композиції можливий епітаксціальний перехід на кордоні наповнювач-сплав, що в порівнянні з гетерогенною структурою підвищує механічні властивості металу.

Разом з тим мала розчинність заліза в розплавленій міді або латуні обумовлює протікання процесу розчинення-осадження в мікрооб'ємах між частками наповнювача, що дозволяє істотно змінювати структуру композиційного металу. На рис. 8, в показана структура металу, що утворилася при взаємодії розплавленої міді з наповнювачем із суміші порошків низько- та високовуглецевої сталі. Зрощування частинок з різним вмістом вуглецю між собою при утворенні стовпчастих кристалів фази Fe-Cu-C істотно підвищує механічні характеристики металу (рис. 9). Ефект армування металу проявляється більш активно при просоченні композиційного наповнювача латунню [5].

Високі механічні властивості забезпечує просочення мідними сплавами наповнювача із залізних

і залізонікелевих сплавів завдяки ефекту диспергування часток порошку із кулястою і губчатою формою. При дифузії міді із розплаву матриці в поверхневих шарах часточок збільшується її вміст, досягаючи межі розчинності. Дифузія атомів міді в кристалічну структуру сплаву на основі заліза спричиняє деформацію решітки, створює напруження і при наявності опуклої поверхні обумовлює руйнування, відокремлення зерен і переміщення їх в розплав. При ізотермічному процесі певної тривалості досягається часткове, або повне диспергування часток з початковим розміром 0,16 – 0,20 мм до часток розміром 10 – 20 мкм (рис. 8, г, д) Композиційний метал з такою структурою має комплекс з найвищим рівнем механічних характеристик.

Основні характеристики – міцність, в'язкість, твердість –

складається з металевої матриці і неметалічного наповнювача з порошків твердих, корозійно- і зносостійких карбідів, боридів, нітридів становить практичний інтерес для технологій плакування і наплавлення.

Процес наплавлення шару металу зі специфічними, найбільш необхідними корозійнозносостійкими властивостями, на металеву підкладку можна представити як процес просочення такого шару з одночасним його з'єднанням металом матриці до поверхні підкладки. Шар формується як композиція з твердих дисперсних частинок наповнювача, з'єднаних розплавом матриці між собою і з підкладкою. Завдання полягає в створенні із пасти або за допомогою форми із целюлози певної технологічної форми, що забезпечує необхідну товщину шару порошку напо-

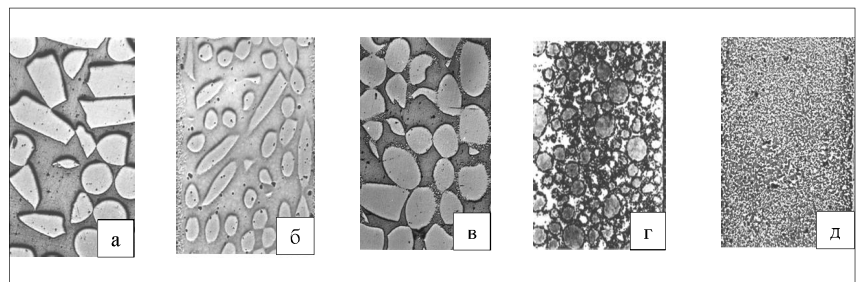


Рис. 8. Мікроструктура (x20) композиційного металу, сформованого мідними сплавами при просоченні наповнювача:
 а – волокна із сталі 20, нерозчинний у матриці із розплаву Cu;
 б – волокна із нікелю, частково розчинний в сплаві Cu-Zn; в – суміш волокон із низько- та високовуглецевої сталі, зрощується дендритами у матриці із розплаву Cu; г – залізонікелевий сплав, куляста форма часток, частково диспергований у матриці із розплаву Cu-Mn;
 д – залізонікелевий сплав, куляста форма часток, повністю диспергований у матриці із розплаву Cu-Mn

композиційного металу з наповнювачем із розпилених азотом залізонікелевих сплавів ПРН24 і Ж50Н50 з вмістом нікелю 24 та 50% відповідно наведені в табл. 6. Там же подані дані про технологічну характеристику – довжину переміщення розплаву в порошок наповнювача. Ці дані отримані при просоченні різними розплавами порошків наповнювачів в алундовій виливниці довжиною 150 мм при нагріванні у вакуумі. Композиційний метал випробували на розтяг, кут загину і твердість.

Процес формування композиційного матеріалу, що

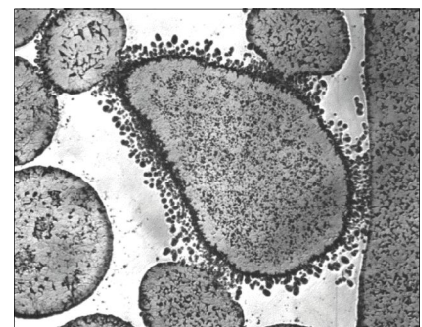


Рис. 9. Мікроструктура (x50) композиційного металу з наповнювачем із суміші часток низько- та високовуглецевої сталі, що зрощені дендритами у матриці із розплаву латуні

Таблиця 6. **Властивості композиційного металу**

Сплав матриці	Наповнювач		Довжина просочення, мм	Механічні властивості		
	Марка	Грануляція, мкм		Кут загину, °	Межа міцності, МПа	Твердість, НВ
Cu	ПРН24	50-100	150	180	544	140
	Ж50Н50		120	120	535	130
Cu-Ni -Si	ПРН24	50-100	150	180	635	240
		100-200			620	212
	Ж50Н50	50-100			610	207
		100-200			600	210
Cu-Ni	ПРН24	50-100	150	180	610	212
	Ж50Н50				610	224
Cu-Mn-Ni	ПРН24	50-100	150	180	610	150
	Ж50Н50				610	140
Mn-Ni	ПРН24	50-100	130	100	630	280
	Ж50Н50			90	620	290
Ni-Cr-Si-B	ПРН24	50-100	120	60	680	340
	Ж50Н50			40	670	330

вновача на підкладці в процесі просочення частинок рідкою фазою. При цьому товщина шару встановлюється будь-якою у відповідності з конструктивними та технологічними вимогами. Роздільний вибір матеріалу наповнювача і матриці дозволяє формувати композиційний метал наплавлення з однією з необхідних властивостей:

- твердий зносостійкий каркас з частинок наповнювача і пластична м'яка матриця;
- твердий зносостійкий каркас з частинок наповнювача і міцна корозійностійка, зносостійка матриця;
- твердий непластичний наповнювач, який утворює твердий пересичений розчин при взаємодії з міцною корозійностійкою, зносостійкою матрицею.

Композиції властивостей наповнювача і матриці можуть бути іншими в залежності від призначення наплавлення. Неодмінним є вибір металу матриці з температурою плавлення значно нижчою температури плавлення металу підкладки, що усуває перемішування металу в зоні сплавлення і тим самим усуває небезпеку утворення ножової корозії, характерної для електродугового наплавлення, і дозволяє сформувати наплавлений шар без збіжних дефектів при будь-якій його товщині. Мікроструктура двох різновидів наплавлення показана на рис. 10.

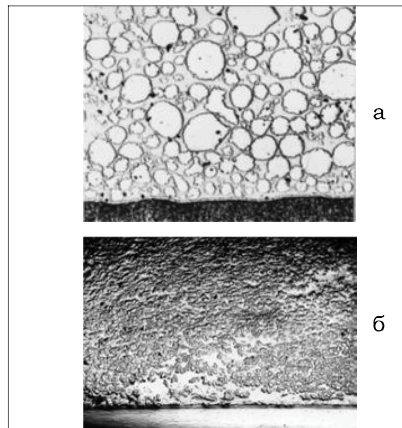


Рис. 10. Мікроструктура (x100) композиційного наплавлення при просоченні сплавом Ni-Si-B стелліта (а) зі сферичною і реліта (б) з кристалічною формою частинок

Просочення розплавом металу порошків у вільному насипному стані є перспективним напрямком створення нових композиційних матеріалів. Такий метод не вимагає попереднього пресування порошків при нормальній або високій температурі, що необхідно в традиційній технології порошкової металургії. Чисельна номенклатура промислових порошків з металів, сплавів, карбідів, боридів, нітридів та інших хімічних сполук, а також велика різноманітність промислових матеріалів з кольорових металів і сплавів, придатних в якості матриці, є передумовою для

створення різних композиційних матеріалів.

Прикладом конструкції, що виготовляється з застосуванням композиційного металу, є кульовий кран з ущільненням «метал по металу» (рис. 11), в якому основні деталі – міцна сталева кульова пробка і ущільнювальні кільця покриті зносостійким корозійностійким шаром, що забезпечує тривалу роботу в корозійному абразивному середовищі при високих температурах і тиску.

Для плакування деталей кульових кранів застосовують гальванічні методи, електродугову наплавку, плазмове і детонаційне наплення. Одним з недоліків цих методів плакування є те, що міцність зв'язку плакуючого шару з основним металом на порядок



Рис. 11. Кульовий кран і його основні плаковані деталі з прохідним перетином діаметром 100 мм

нижче міцності основного металу. При цьому міцність з'єднання плакуючого шару знижується при збільшенні його товщини, що пов'язано з наявністю внутрішніх напружень і різницею теплофізичних властивостей основного металу і покриття. При наявності вібрації і великому контактному навантаженні покриття відшаровується від підкладки.

Для формування покриття з надійним зв'язком з основним металом створена технологія покриття з застосуванням просочення порошку в довільній формі розплавом металу матриці (рис. 12).

Для плакування на деталі 1, що наплавляється, формують із пасти прошарок покриття 2. На шар покриття розміщують технологічне кільце із металу матриці 3. Зібрані деталі розміщують на технологічній керамічній підставці 4. Можливе використання іншої схеми. В кільці 1 розміщують форму із тонкого целюлозного листа. Зазор між формою і кільцем заповнюють порошком і просочують його розчином акрилової смоли. Після просушування зібраних по першій або другій схемі деталей їх розміщують в печі для просочування.

У конструкціях, які працюють при вібраційних навантаженнях неприпустимі концентратори напруг, що істотно впливають на втомну міцність різного виду з'єднань. Прикладом такої конструкції є робоче колесо відцентрового компресора (рис. 13).

Деталі робочого колеса – лопатки і диски – з'єднуються високотемпературним паянням. Розплавлен-

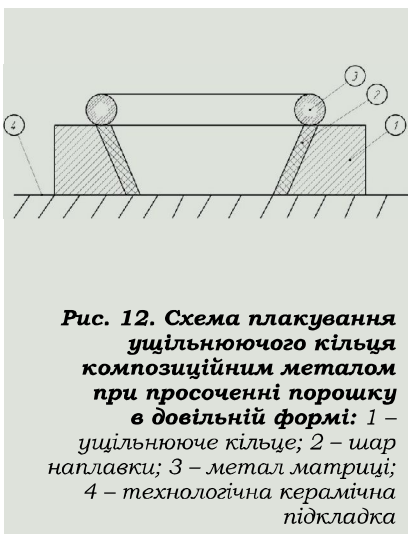


Рис. 12. Схема плакування уцілюючого кільця композиційним металом при просоченні порошку в довільній формі: 1 – уцілююче кільце; 2 – шар наплавки; 3 – метал матриці; 4 – технологічна керамічна підкладка

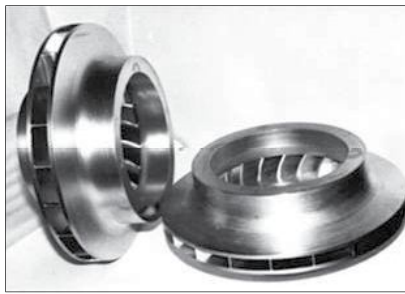


Рис. 13. Зовнішній вигляд робочих коліс ЦКМ

ний припій під дією капілярних сил формує галтель радіусом не більше 1 мм, що є концентратором напруги. Товщина лопатки робочого колеса має розмір 4 ... 7 мм. Для підвищення конструкційної втомної міцності паяних коліс до рівня основного металу необхідно збільшити розмір радіусу галтелі таврового з'єднання до $\approx 5 \dots 7$ мм.

Отримати в таврових з'єднаннях таку велику галтель можна, попередньо сформувавши її з металевого порошку. Для цього в таврі формують із пасти галтель з необхідними формою і розмірами. Композиційний метал забезпечує з'єднанню необхідні механічні властивості і якісне формування з гладкою поверхнею і ідеальним сполученням поверхні галтелі і елементів тавра (рис. 14) [9].

Висновки

1. Формування композиційного матеріалу з металевою матрицею просоченням розплавом порошку в технологічній формі у стані вільного заповнення, або розміщеного на поверхні у вигляді шару пасти дозволяє створювати різноманітні технічні конструкції спеціального призначення.

2. Технологічним матеріалом для композита можуть бути стандартні промислові порошки, що застосовуються в порошковій металургії. В якості матриці придатні стандартні та спеціальні сплави кольорових металів, температура плавлення яких не перевищує 1200°C.

3. Технологічні процеси формування композиційних матеріалів з металевою матрицею просоченням розплавом порошків здійснюються в стандартному серійному термічному обладнанні і можуть бути освоєні в умовах машинобудівного підприємства.

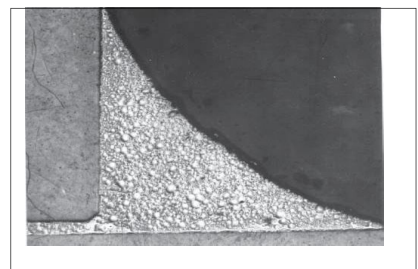


Рис. 14. Мікроструктура (x20) таврового з'єднання з галтеллю із композиційного металу

Список літератури:

1. Федорченко М.И. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, область применения / М. И. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысльский и др.-К.: Наук. думка, 1985.- 624 с.
2. Бальшин М. Ю. Основы порошковой металлургии / М. Ю. Бальшин, С. С. Кипарисов. – М.: Металлургия, 1978.- 184 с.
3. Федорченко И. М. Основы порошковой металлургии / И. М. Федорченко, Р. В. Андриеевский. – К.: Изд. АН УССР, 1961.-420 с.
4. Радзівський В. М. Композиційний матеріал в нероз'єднаних з'єднаннях і плакуванні: монографія / В. М Радзівський, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 241 с.
5. Кирик Г.В. Новые композиционные материалы / Г.В. Кирик, В.Н. Радзиевский, А.Д. Стадник.-Сумы: Университетская книга, 2011. – 310 с.
6. Усталостная прочность железа, пропитанного медью. Konda Tsao, Yagi Hidetsugu, Nakagawa Toshiyuki // J. Jap. Soc. Power and Powder Met. – 1976. - №2. – P. 48-54.
7. Шапиро А. Е. Интенсивность растворения железного наполнителя в латуном припое / А.Е.Шапиро, М.И.Савельева, Э.С.Каракозов // Автоматическая сварка. – 1978. - №2. – С 28-30.
8. Ткаченко Г.Г. Композиционная коррозионностойкая износостойкая наплавка уплотнительных колец шаровых кранов / Г.Г.Ткаченко, В.Н.Радзиевский, П.Е.Жарков // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2008. - №1(11). – С.86 – 89.
9. Радзиевский В.Н. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении / В.Н. Радзиевский, Г.Г. Ткаченко. – К: «Екотехнологія», 2009 – 400 с.