

## Одержання біметалів методами порошкової металургії (Огляд)

К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, К. К. Нгуен, Л. О. Радченко

*Проведений огляд методів порошкової металургії, що застосовують для одержання біметалів фрикційних, антифрикційних, фільтрових та електроконтактних матеріалів. Пресування та прокатування порошків дозволяють отримувати біметали з шарами різної товщини. При одержанні біметалів з порошків для уникнення дефектів при досягненні безпористого стану вибирають порошки з відповідною формованістю.*

**Ключові слова:** біметали, порошкова металургія, пресування, прокатування, формування.

Серед методів одержання біметалів методи порошкової металургії займають особливе місце завдяки своїй економічності і низьким питомим енергетичним витратам. В цьому огляді біметали розглядаються не тільки як матеріали, що складаються з двох шарів різних металів, а і як такі, шари яких можуть складатися з кількох компонентів. В цьому випадку методи порошкової металургії дозволяють формувати шари з певним заданим хімічним складом та наперед заданими експлуатаційними властивостями. Незважаючи на перспективність такого виду матеріалів, досі не проведений аналіз особливостей їх формування, не встановлено переваги та недоліки певних методів. Зазначені питання розглядаються на прикладі чотирьох груп матеріалів: фрикційних, антифрикційних, фільтрових та електроконтактних.

### Фрикційні матеріали

Найбільш поширеним методом виготовлення фрикційних деталей з порошкоподібних вихідних компонентів є пресування накладок в сталевих прес-формах з подальшим їх спіканням. У більшості випадків спікання поєднується з процесом дифузійного з'єднання порошкової накладки з відповідним чином підготовленим сталевим каркасом, що зміцнює. Для цього використовують спеціальні установки, що дозволяють спікати вироби у захисному середовищі з прикладанням зовнішнього навантаження [1]. Описаний технологічний процес застосовується переважно для виготовлення плоских деталей — дисків, сегментів, пластин. Виготовлення цим методом деталей у вигляді колодок, стрічок пов'язано з великими труднощами, оскільки вимагає спеціального складного інструменту і технологічного оснащення, або зовсім неможливо із-за необхідності використання особливо потужних пресів і установок для спікання.

Одним з перспективних методів формування фрикційних накладок з практично необмеженими розмірами по довжині є прокатування порошків [2]. Відомо, що прокатування порошкової стрічки (смуги) у порівнянні з методом пресування порошків дає можливість отримати більш однорідну

відносну густину матеріалу [3]. Крім того, при виготовленні фрикційних деталей з прокатоної стрічки вартість їх нижча, ніж деталей, виготовлених звичайними методами порошкової металургії [4].

У роботах [4—6] запропоновано два способи з'єднання прокатоної порошкової смуги із сталеву деталлю, що виконує функцію основи. Перший спосіб полягає у тому, що заздалегідь спечена смуга приклеюється до сталевій підкладки, потім отриману біметалеву деталь згинають для надання їй необхідної форми. Другий спосіб застосовується у випадках, коли склеєні деталі не витримують умов експлуатації. У цьому випадку тонкі прокатані стрічки згинають за формою сталевих елементів, що несуть, і припікають до них під тиском у спеціальному оснащенні. Чехословацькими дослідниками були отримані стрічки завтовшки 0,25—0,30 і шириною 35—90 мм. Різну товщину фрикційних накладок вони рекомендують отримувати одночасним спіканням двох або більше смуг, покладених одна на одну, оскільки при спіканні границі розділу окремих шарів абсолютно зникають [7].

У роботі [4] показано, що за правильно виконаних умов спікання у отриманих фрикційних стрічок можна досягти таких же значень коефіцієнта тертя і питомого зносу, як і у виробів, виготовлених пресуванням суміші.

### Антифрикційні матеріали

Прокатування антифрикційних порошкових сумішей в однорідну стрічку викликає певні труднощі. Наявність у порошковій шихті мастила призводить до порушення стабільності процесу прокатування. Це проходило наступним чином. Стрічка, яка виходила з валків, починала зменшуватися по товщині і через декілька обертів валків замість стрічки починали випадати безформні шматки прокату. Це явище пояснювалося тим, що карбон, який містився у шихті, був твердим мастилом, налипав на поверхню валків і зменшував силу тертя, яка залучала порошок до зони деформації. Оскільки процес налипання графіту прогресував з кожним обертом прокатних валків, то наступав момент, коли починалося прослизання порошку на поверхні валка, і процес стабільного формування стрічки порушувався [8, 9].

Площі перетинів, через які подавалися порошки при формуванні біметалу, розраховані і враховані при конструюванні бункерного пристрою для подачі порошків в зону деформації. Правильність налаштування стану оцінювалася практично, тобто вимірюванням товщини шарів у прокаті. Результати випробувань показали, що найбільш перспективним виявився біметал, прокатаний з шихти наступного складу (% (мас.)): залізо — основа, мідь — 2,8, сірка — 0,3, вуглець — 0,6, ферофосфор — 1,0, з зовнішніми шарами із заліза. Прокатування проводили на стані, що мав діаметр валків 297 мм і довжину бочки 620 мм. Параметри отриманого прокату наведено у табл. 1. Прокат після подальшого спікання був використаний як матеріал для виготовлення великогабаритних підшипників ковзання брукто-переробного устаткування.

### Пористі матеріали

Серед матеріалів, що фільтрують, важливе місце займають фільтри, які одержують методом порошкової металургії. Ці фільтри одношарові,

**Т а б л и ц я 1.** Параметри біметалевого прокату, виготовленого у виробничих умовах

Товщина, мм			Розмір листа, мм	Відносна густина, %
загальна	середина	шар		
2,50	1,50	0,5	600x900	70
2,57	1,97	0,3	600x900	70
2,53	1,93	0,3	600x900	63

мають різну форму і розміри. Фільтрувальні металокерамічні елементи в основному виготовляють двома способами: пресуванням порошків у прес-формах або прокатуванням порошків у валках [10—13].

Продуктивність фільтрів суттєво залежить від товщини фільтрувального шару [14]. Продуктивність фільтрів, виготовлених прокатуванням, значно вища, ніж пресованих, оскільки перші завжди можуть бути отримані тоншими і, отже, з меншим гідравлічним опором [12]. Проте збільшення продуктивності фільтрів, одержаних прокатуванням, обмежене найменшою товщиною фільтрувального матеріалу, оскільки із зменшенням товщини фільтрувального матеріалу знижується його міцність. Вказаний недолік, у певних межах, компенсується застосуванням каркасів, що встановлюються додатково в конструкцію фільтру.

Продуктивність фільтрів з технічної точки зору може бути підвищена, якщо поєднати виготовлення фільтрувального матеріалу і каркаса в одну операцію. Це можливо, наприклад, зробити при виготовленні фільтрувального матеріалу двошаровим [15]. Двошаровий фільтрувальний матеріал складається з фільтрувального шару, виготовленого з металевих порошків, що забезпечує необхідні фільтрувальні властивості, і шару крупного порошку, що виконує роль каркаса. Такі фільтри з титанового порошку і порошку нержавіючої сталі X18N15 були виготовлені і досліджені [16]. Зразки товщиною 0,65—1,0 мм і розмірами 100x300 мм та 300x650 мм з загальною пористістю 32—37% виготовляли прокатуванням при кімнатній температурі і питомому тиску прокатування 150—400 МПа з подальшим спіканням в захисній атмосфері. Отриманий листовий пористий матеріал мав два шари з різним розміром порових каналів: тонкий шар, що фільтрує, — 0,15—0,20 мм з малими розмірами пор з

**Т а б л и ц я 2.** Властивості двошарових матеріалів, що фільтрують

Матеріал	Шар	$D_n$ , мкм	$h$ , мм	$P$ , %	$\sigma_n$ , МПа	$K$ , Дарсі	$d_3$ , мкм
Нержавіюча сталь	Що фільтрує	40—60	0,15—0,18	39—42	40—49	0,16	10—12
	Каркасний	200—60	0,47—0,50	32—34			
Титан	Що фільтрує	<60	0,15—0,20	40—46	73—75	0,40—0,49	7—12
	Каркасний	60—200	0,80—0,85	30—35			

Примітка:  $D_n$  — діаметр порошинок;  $h$  — товщина;  $P$  — пористість;  $K$  — коефіцієнт проникності;  $d_3$  — найменший діаметр затримуваних частинок забруднювача.

дрібнішого порошку і шар, що несе, каркасний, завтовшки 0,45—0,85 мм з крупними порами з крупнішого металевого порошку (табл. 2).

Конструктивно двошарові фільтрувальні матеріали можуть бути виконані у вигляді плоских дисків, секторів, пластин прямокутної форми, у вигляді труб та ін. З'єднання окремих елементів фільтру з двошаровим матеріалом проводиться точковим або шовним електрозварюванням.

### Колекторні матеріали

В якості колекторної смуги, для одержання ламелей застосовують промислово мідну смугу [17]. Дослідження і практика показали, що прокатуванням металевих порошоків можна отримувати залізомідну колекторну смугу. Колекторна смуга ромбоподібного перетину складається з двох зовнішніх шарів заліза і внутрішнього шару міді (рис. 1), що дозволяє економити велику кількість міді (залізо йде на кріплення хвостовика ламелі). Ламель працює на контактний знос і повинна мати високі густину, тепло- і електропровідність, механічні властивості та зносостійкість.

В результаті неоднакової усадки заліза і міді і поганій їх сумісній здатності до деформування в холодному стані стрічка мала дефекти у вигляді тріщин, і висока щільність не була досягнута.

У Горьківському політехнічному інституті був запропонований метод гарячого ущільнюючого прокатування сформованої з порошку колекторної смуги. Такий метод складався з двох основних етапів: гаряче прокатування плоских залізомідних смуг; гаряче прокатування ромбоподібних залізомідних смуг.

Гаряче прокатування здійснювали на установках вертикального [18] і горизонтального типів, що дозволяють вести нагрів і прокатування порошкових матеріалів в атмосфері водню.

Плоскі залізомідні заготовки для гарячого прокатування отримували пресуванням, ромбоподібні — профільним прокатуванням порошку. Швидкість гарячого прокатування становила 40—60 см/с, що, за даними розрахунку [19], дозволяє значно зменшити охолодження тонкої заготовки при прокатуванні у холодних валках. Час нагріву заготовки перед прокатуванням становив 7—10 хв. Для визначення температури сумісного гарячого прокатування залізомідних смуг досліджували гаряче прокатування окремо залізних і мідних смуг, сформованих з сулінського залізного порошку і порошку електролітичної міді. Залізні заготовки завтовшки 2,3 мм з відносною густиною 65% прокатували при 500, 800 і 1000 °С з різними ступенями обтиснення. Мідні заготовки такої ж товщини з відносною густиною 57% прокатували при 500, 700, 900 і 1000 °С. Максимальні густина і механічні властивості були отримані за один прохід для заліза при температурі 1000 °С і величині висотної деформації  $\Delta = 40\%$ , для

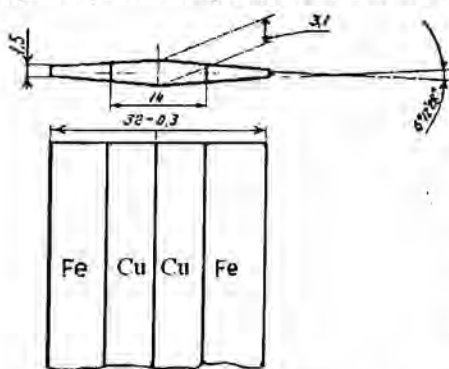


Рис. 1. Колекторна залізомідна смуга.

міді — при 900 та 1000 °С і  $\Delta = 45\text{—}50\%$ . У зв'язку з цим для сумісного гарячого прокатування залізомідних стрічок була вибрана температура 950 °С. Залізомідні пласкі заготовки формували пресуванням залізного сулінського порошку з порошком електролітичної міді, залізного запорізького порошку з електролітичною міддю і залізного запорізького порошку з порошком міді, одержаним відновленням. При нагріві у водні заготовок до температури гарячого прокатування відбувається відновлення оксидних плівок, що знаходяться на поверхні частинок порошку. Як показали дослідження, відновлення оксидних плівок йде з великою швидкістю і закінчується при 950 °С через 3—4 хв з моменту введення в піч, тобто в межах часу нагріву, який застосовувався (7—10 хв). Ця витримка недоетатія для відновлення оксидних плівок, наявних у сулінському заліжному і мідному відновленому порошках. При нагріві у сформованих заготовках відбуваються процеси спікання, які у випадку мідного ряду приводять до значної усадки, при цьому товщина мідного ряду стає меншою за товщину залізних. Пласкі залізомідні заготовки прокатували до  $\Delta = 40\text{—}45\%$ . При  $\Delta > 15\text{—}20\%$  на заготовках із запорізького залізного порошку з електролітичним мідним і запорізького залізного порошку з мідним відновленням виявлено поперечні тріщини на залізних і мідних рядах. Крайні результати отримано при прокатуванні заготовок з сулінського залізного порошку ПЖМ або ПЖК і електролітичної міді. Такі заготовки допускали сумісну  $\Delta = 40\text{—}45\%$  за один прохід без утворення тріщин.

Дослідження мікроструктури гарячекатаних заготовок показало, що міжчастинкова рекристалізація у мідному ряду відбувається при  $\Delta = 25\text{—}30\%$  (відносна густина 90—92%), а в заліжному ряду — при  $\Delta = 30\text{—}35\%$  (відносна густина 88—92%). При цьому на місці деформованих вихідних порошинок виникають нові рекристалізовані зерна. Мікроструктура зони з'єднання наведена на рис. 2.

Міжчастинкову рекристалізацію можна описати таким чином. При гарячому прокатуванні із зростанням величини деформації збільшується площа контактів на границях частинок, що деформуються, з появою ділянок металевого зв'язку. У середині частинок порошку відбувається рекристалізація. Рекристалізовані зерна, що утворилися, гальмуються на контактних границях порами різних розмірів. Зі збільшенням величини деформації кількість пор на границях між порошинками зменшується і стає можливим проростання рекристалізованих зерен через границю. В результаті міжчастинкової рекристалізації повністю змінюється структура порошкового матеріалу. Пори, що залишилися у момент міжчастинкової рекристалізації на межах, виявляються переважно у середині рекристалізованих зерен. Границя між залізними і мідними рядами у пласких заготовках являє собою переміжування ділянок міді в залізі та заліза в міді.

Рис. 2. Мікроструктура ( $\times 270$ ) зони з'єднання заліза (ліворуч) і міді в колекторній стрічці, одержаній гарячим прокатуванням при температурі 900 °С та величині висотної деформації 15% [17].



У процесі гарячої деформації якість зчеплення рядів поліпшується, що можна оцінити за ступенем здатності до травлення межі. Із збільшенням ступеня деформації здатність до травлення зменшується і наближається до травлення міжзеренної межі. Проте чітка межа розділу між рядами міді і заліза зберігається. На підставі отриманих даних по гарячому прокатуванню плоских залізомідних смуг розраховували калібр для гарячого прокатування профільних смуг, що забезпечував рівномірну деформацію (приблизно 40%) у всіх перетинах калібру.

### Висновки

Для одержання біметалів з порошків використовують два методи: пресування та прокатування, причому прокатування у ряді випадків є простішим, а іноді і єдиним можливим методом.

При виготовленні колекторних матеріалів при формуванні біметалів встановлено, що важливими є властивості вихідних порошків, зокрема їх формованість.

Правильний підбір порошків дозволяє уникнути дефектів при ущільнюючому прокатуванні.

Використання гарячого прокатування дозволяє одержувати безпористий біметал за одну операцію.

1. Федорченко И. М., Крячек В. М., Панаиоти И. И. Современные фрикционные материалы. — К.: Наук. думка, 1975. — 333 с.
2. Катрус О. А., Крячек В. М. Опыт изготовления биметаллических фрикционных накладок методом прокатки // Порошковая металлургия. — 1978. — № 3. — С. 8—11.
3. Прејгензон Я. И., Генкин В. А., Ковнацкий В. С. Фрикционные металлокерамические материалы. — Минск: ИНТИП, 1965. — 32 с.
4. Тормозные материалы. Порошковая металлургия в машиностроении капиталистических стран. — М.: Ин-т техн.-эконом. информации АН СССР, 1955. — С. 37—39.
5. Аксёнов Г. И., Семёнов Ю. Н. Прокатка металлических порошков в валках. — М.: ВИНТИ, 1957. — 24 с.
6. Miculek I., Dufek V., Kokes F. Nektere upravy zlepšici technologie výroby bronzgrafitovvychtrecich materiflu // Pokroky Praskove Metalurgie VUPM. — 1965. — № 3. — С. 3—18.
7. Дуфек В., Мичулек И. Исследование металлокерамических фрикционных материалов в ЧССР // Порошковая металлургия. — 1967. — № 6. — С. 100—111.
8. Бошин С. Н., Николаев А. Н., Шмоткин Ю. А., Травин Г. М. Получение листового антифрикционного пористого металлокерамического материала на основе железа // Инф. листок № 183—73. — Ярославль: Межотраслевой территориальный центр науч.-техн. информ. и пропаганды, 1973.
9. Бошин С. Н. Исследование и разработка пористых антифрикционных порошковых материалов на основе железа для узлов трения ломоперерабатывающего оборудования: Дис. ... канд. техн. наук. — Горький, 1974.
10. Виноградов Г. А., Семенов Ю. Н., Катрус О. А., Каташинский В. П. Прокатка металлических порошков. — М.: Металлургия, 1966. — 382 с.
11. Агте К., Оцетенек К. Металлокерамические фильтры, их изготовление, свойства, применение. — Л.: Судпромгиз, 1959. — 342 с.
12. Пырялов Л. А. Исследование свойств и условий получения пористых листовых материалов методом прокатки металлических порошков: Дис. ... канд. техн. наук. — Горький: Горьковский политехн. ин-т им. А. А. Жданова, 1965. — 191 с.

13. Тихонов Г. Ф., Сорокин В. К., Пырялов Л. А. Фильтрующие и проницаемые материалы из металлических порошков // Техн. листок № 290. — Волго-Вятское ЦБТИ, 1967.
14. ГОСТ 2909—53. Методы определения водопоглощения, пористости и объёмного веса.
15. Пугин В. С., Солонин С. М., Федорченко И. М. Разработка фильтров тонкой очистки // Сб. VIII Всесоюз. конф. по порошковой металлургии. — Минск, 1966. — С. 266—270.
16. Сивов А. В. Высокопроизводительные металлокерамические двухслойные фильтры // Тр. ГПИ. — 1972. — 28, вып. 8. — С. 5—6.
17. Шмоткин Ю. А., Сусанин В. А. Горячая прокатка железомедных коллекторных лент // Там же. — 1974. — 30, вып. 14. — С. 23—27.
18. Николаев А. К., Шмоткин Ю. А. Стан для горячей прокатки металлических порошков и исследование его работы // Оборудование и материалы в порошковой металлургии. — М., 1967. — С. 57—62.
19. Шмоткин Ю. А., Николаев А. К. Температурно-скоростные факторы при горячей прокатке металлических порошков // Порошковая металлургия. — Минск: Высшая школа, 1966. — С. 79—86.

### **Получение биметаллов методами порошковой металлургии (Обзор)**

К. О. Гогаев, О. К. Радченко, К. К. Нгуен, Л. О. Радченко

*Проведен обзор методов порошковой металлургии, которые применяют для получения биметаллов фрикционных, антифрикционных, фильтровых и электроконтактных материалов. Прессование и прокатка порошков позволяют получать биметаллы со слоями разной толщины. При получении биметаллов из порошков во избежание дефектов при достижении беспористого состояния выбирают порошки с соответствующей формуемостью.*

**Ключевые слова:** биметаллы, порошковая металлургия, прессование, прокатывание, формуемость.

### **Making of bimetal by the powder metallurgy methods (Review)**

K. O. Gogaev, O. K. Radchenko, K. K. Nguen, L. O. Radchenko

*The review of the PM methods, which apply for the making of bimetal of friction, anti-friction, filter and electro-contact materials. Pressing and rolling of powders allow to get bimetal with the layers of different thickness. At the productions of bimetal from powders for avoidance of defects at achievement of the state without pores choose powders with proper compactibility.*

**Keywords:** bimetal, powder metallurgy, pressing, rolling, compactibility.