

УДК 534.2

## Особливості об'ємного легування матеріалів дисперсними металічними порошками

К. М. Храновська\*, кандидат технічних наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ



*Запропоновано новий спосіб легування матеріалів металічними порошками дисперсного розміру. Встановлено, що при проникненні частинок порошку у металічну мішень відбувається зміна їх форми та розмірів. Розглянуто зміни мікроструктури та фазового складу мішені, спричинені легуванням.*

Легування виробів з металів та сплавів порошковими матеріалами різного складу та дисперсності є ефективним способом реновації та підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів. У 80-х роках ХХ століття С. М. Уширенко було відкрито ефект надглибокого проникнення частинок у тверді тіла, яке досягається за допомогою вибухового прискорювача [1]. Однак для реалізації даного способу легування необхідно застосовувати складну в експлуатації техніку, при цьому у матеріал мішені проникає обмежена кількість порошку. У зв'язку з цим виникла необхідність пошуку нових технологічних прийомів для спрощення та підвищення ефективності способу обробки металів та сплавів, який розглядається. Вирішенню цих задач і присвячена дана робота.

У Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАНУ було розроблено фізико-технологічні засади та запропоновано новий метод об'ємного легування матеріалів дисперсними металічними порошками.

При розробці фізико-технологічних засад методу було використано встановлені нами раніше закономірності масоперенесення, структуро- та фазоутворення при електроіскровому легуванні металів у різних міжелектродних середовищах (повітря, рідкий азот, вуглецевмісне) [2, 3].

В ході попередніх досліджень було встановлено, що при реалізації методу об'ємного легування глибина проникнення металічного порошку у матеріал мішені є на кілька порядків більшою, ніж та, що досягається електроіскровою обробкою. Можливим є використання металічних порошків різного складу та дисперсності, в тому числі тих, які не є електропровідними.

Об'єктом дослідження (мішенню) було обрано зразки технічного заліза (99,9 % Fe) та високочистого алюмінію (99,99 % Al). Мішені мали форму пластинки з розмірами 10x100x0,5 мм (технічне залізо) та 10x100x1 мм (алюміній). Легування

---

\*Третя премія ім. М.П. Брауна.

Науковий керівник роботи доктор технічних наук Мазанко В.Ф.

залісної мішені здійснювали частинками карбіду кремнію SiC (середній розмір фракції 50 мкм); алюмінієву мішень обробляли порошком потрійного сплаву Ti – Al – Zr (мас. частка, %: 79,4 Ti, до 7,7 Al, до 11 Zr, до 0,6 Mo, до 1 Nb, до 0,15 Fe) (середній розмір фракції 100 мкм) та частинками карбіду бору B<sub>4</sub>C (середній розмір фракції 100 мкм).

Обробку здійснювали на спеціально розробленій установці (рис. 1) детальний опис та принцип роботи якої наведено у [4]. Параметри легування були наступними: густина імпульсного струму 1 А/мм<sup>2</sup> зі шпарністю 2, частота імпульсного механічного ударного впливу 50 Гц при шпарності 5. Розрахована швидкість міграції частинок порошку складала 0,2 – 0,4 мкм/с. Тривалість обробки – 3,6 · 10<sup>3</sup> с. Процес проводився за кімнатної температури [5].

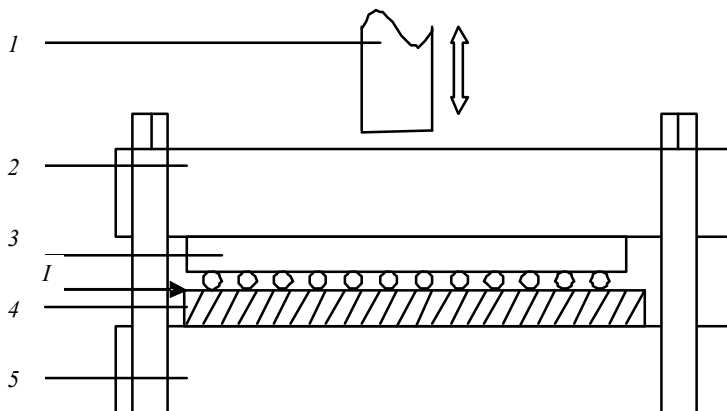


Рис. 1. Схема розміщення плит при легуванні мішені металічним порошком: 1 – ударник, 2 – сталеві плити (20x60x3 мм), 3 – залізна плита (10x15x0,5 мм), 4 – мішень, 5 – сталеві плити (20x60x3 мм). Двоїмбічна стрілка вказує напрям руху ударника. Однобічна стрілка вказує напрям протікання струму. Кружечками вказано металічний порошок.

Дослідження мікроструктури виконані з використанням мікроскопу MIM-8 та електронного мікроскопу марки JEM – 100CX11. Рентгеноструктурні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-3М у CuK<sub>α</sub> випромінненні.

Згідно результатів рентгенофазового аналізу алюмінієвої мішені, легованої карбідом бору B<sub>4</sub>C [6], відбувається зростання інтенсивності основних рентгенівських ліній алюмінію, виникають рефлекси від карбіду бору та аморфне гало, що може свідчити про утворення в об'ємі металу рентгеноаморфних станів (рис. 2). Відсутність на рентгенограмі рефлексів від карбіду та бориду алюмінію може бути пов'язано з тим, що при впровадженні частинок B<sub>4</sub>C в алюміній відбувається часткове розщеплення порошку B<sub>4</sub>C на складові, а також із обмеженою розчинністю вуглецю та бору в алюмінії [7].

Згідно результатів електронно-мікроскопічного аналізу частинки порошку сплаву Ti – Al – Zr (до впровадження в алюміній) мали сферичну форму та раковину усадки, яка могла утворитись в процесі тверднення розплаву при їх формуванні (рис. 3 а). Однак вже після обробки протягом 1,8 · 10<sup>3</sup> с в частинках порошку з'являються тріщини (рис. 3 б).

Після розчинення в лузі КОН насиченої частинками сплаву Ti – Al – Zr алюмінієвої мішені отримуємо дрібні сферичні частинки із середнім розміром 30 мкм.

Розрахунки свідчать, що розмір частинок порошку в процесі легування зменшується в середньому в 1,5 – 5,0 разів. При цьому розрахована швидкість руху частинок порошку в алюмінієву матрицю складає порядку 0,3 мкм/с, а глибина їх проникнення – до 0,8 мм.

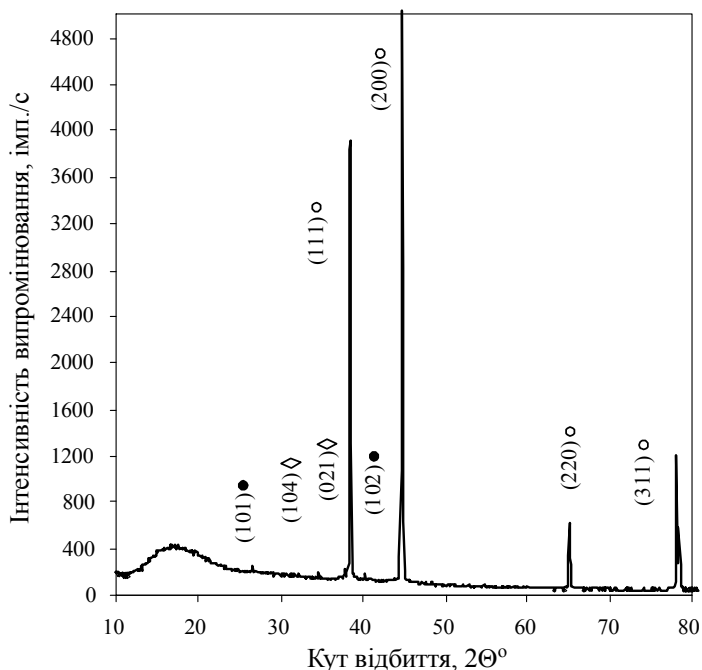
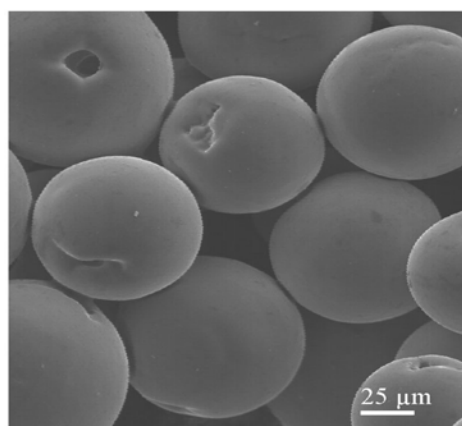
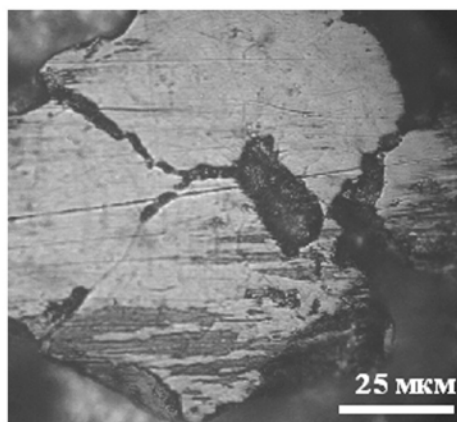


Рис. 2. Рентгенограма з поверхні алюмінієвої мішені після легування  $V_4C_5$ . ● –  $Al_2O_3$ , ◦ – Al, ◊ –  $V_4C_5$ .



а



б

Рис. 3. Частинки порошку сплаву Ti – Al – Zr до проникнення в алюміній (а) та частинка в об'ємі алюмінієвої матриці (б).

На рентгенограмі перерізу залізної мішені, легованої порошком SiC, присутні рефлекси від силіцидів ( $FeSi_2$ ,  $Fe_3Si$ ),  $\alpha$ -Fe та SiC. Порівняння отриманої рентгенограми з рентгенограмою для вихідного заліза свідчить про те, що кількість та інтенсивність рефлексів від  $\alpha$ -Fe зменшується. Натомість вміст силіцидів заліза у мішені збільшується. Відсутність рефлексів від  $Fe_3C$  можна пояснити тим, що вуглець, який утворюється при розпаді SiC, переважно знаходиться у атомарному стані в мікротріщинах, які утворюються при ударній обробці.

Результати дослідження мікроструктури перерізу залізної мішені насиченої карбідом кремнію, демонструє рис. 4 (а, б), звідки видно, що розміри та форма частинок SiC суттєво відрізняються від їх вихідної (сферичної) форми. Частинки невеликого розміру можуть бути силіцидами заліза (рис. 4 а).

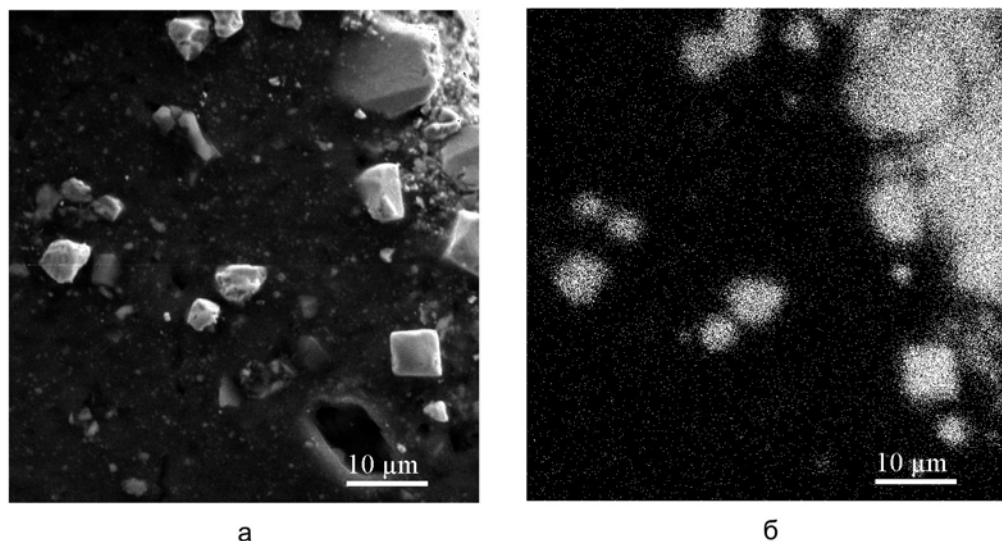


Рис. 4. Переріз залізної мішені, насиченої SiC (а), та розподіл кремнію за її перерізом (б). x 1500.

Аналіз розподілу кремнію за перерізом залізної мішені наведений на рис. 4 б. На знімку спостерігаються області скупчення кремнію (світлі плями), що входить до складу карбіду кремнію, та невеликі за розміром білі точки, що можуть бути ідентифіковані як кремній, що входить до складу силіцидів заліза.

На наш погляд, структурний стан системи Fe – SiC визначається рівновагою заліза (матриці), порошку SiC та тим, що утворюється внаслідок розпаду карбіду SiC на складові. Відомо [8], що при імпульсному механічному ударному впливові (МУВ) формується розвинута дислокаційна структура. Пластична деформація, що має місце при МУВ, сприяє прискореному переносу атомів вуглецю від SiC до дислокацій з наступним утворенням атмосфер Коттрелла. Натомість кремній має більше хімічне споріднення до заліза порівняно з вуглецем, тому відбувається розпад карбіду кремнію з наступним утворенням силіцидів заліза з різним стехіометричним складом, що підтверджується даним рентгенофазового аналізу. Таким чином, комплексний вплив на мішень імпульсного струму та перпендикулярно спрямованого по відношенню до неї імпульсного ударного механічного впливу сприяє проникненню частинок порошку в неї, внаслідок короточасного зниження міцності зсуву на фронті ударної хвилі, подібно до того, як це відбувається у випадку надглибокого проникнення частинок в активоване пружно-пластичне середовище [9]. Такий стан, що сприяє проникненню порошкового матеріалу у мішень, досягають за рахунок імпульсного ударного впливу. Посиленню збудження, що призводить до ще більшого проникнення порошку у мішень сприяє збільшення амплітуди коливань атомів у вузлах кристалічної ґратки матеріалу нагріванням мішені внаслідок пропускання електричного струму крізь неї. Багатократність впливу забезпечує максимальне проникнення порошкового матеріалу у мішень.

**Висновки** Розроблено фізико-технологічні засади та запропоновано новий метод легування матеріалів дисперсними металічними порошками. Показано можливість

глибокого втілення порошку в метал (до тисячі мікрон) внаслідок комплексного впливу імпульсного ударного навантаження та електричного струму.

## Література

1. Уширенко С. Н. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. – Минск: НИИ импульсных процессов, 1998. – 209 с.
2. Храновська К. М., Мазанко В. Ф., Бевз В. П. // Доповіді НАНУ. – 2010. – 12. – С. 100 – 267.
3. Храновська К. М., Мазанко В. Ф., Бевз В. П. // Металознавство та обробка металів. – 2010. – 3. – С. 25 – 29.
4. Храновська К. М. Масоперенесення, структурні та фазові зміни у залізі та міді при їх легуванні за умов температурних градієнтів. Автореферат дис. ... кандидата технічних наук / Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАНУ. – Київ, 2008. – 20 с.
5. Патент на винахід № 82815 Україна, МПК<sup>6</sup> C23C10/30, C23C12/00, C23C24/00, B22F7/04. Спосіб зміцнення поверхонь тертя деталей. / В.Ф. Мазанко, К.М. Храновська, О.Є. Погорелов. // Бюл. “Промислова власність”. – 2008. – № 9. – С.15.
6. Мазанко В. Ф., Храновська К. М., Стаценко В. М. // Металознавство та обробка металів. – 2008. – № 4. – С. 32 – 35.
7. Вол А. Е. Структура и свойства двойных металлических систем. Том 1. Справ. – М.: ГИФМЛ, 1959. – С. 190, 496.
8. Гаврилук В. Г. Распределение углерода в стали. – Киев: Наук. думка, 1987. – 208 с.
9. Кривоглаз М. А., Масюкевич А. М., Рябошапка К. П. // ФММ. – 1967. – 23, 2. – С. 200 – 210.

Одержано 22.03.11

**Е. Н. Храновская**

### **Особенности объемного легирования материалов дисперсными металлическими порошками**

#### **Резюме**

Предложен новый способ объемного легирования материалов дисперсными металлическими порошками. Установлено, что при проникновении частиц порошка в металлическую мишень происходит изменение их формы и размеров. Рассмотрены изменения микроструктуры и фазового состава мишени, обусловленные легированием.

**E. N. Khranovskaia**

### **Features of volume alloying of the materials by metallic powders of a small size**

#### **Summary**

A new method of volume alloying of the materials by metallic powders of a small size is proposed. It was found that at penetration of the powder particles into a metallic target the changing of their shape and size took place. The changing of microstructure and phase composition of a target after alloying are considered.