

УДК 534.2

PACS number(s): 62.50.+p,81.50.Bx,81.20.Ev

## МІКРОСТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНОЇ МІШЕНІ, ЯКІ ФОРМУЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЛЕГУВАННЯ КАРБІДОМ КРЕМНІЮ

**В. Мазанко, К. Храновська, В. Стаценко, Є. Іващенко<sup>1</sup>**

*Інститут металофізики ім. Г.В.Курдюмова НАН України,  
вул.Вернадського, 36, 03142 Київ, Україна  
e-mail: katusa@online.com.ua*

*<sup>1</sup>Національний технічний університет України "КПІ"  
просп.Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна*

Методами електронної, оптичної мікроскопії та рентгенофазового аналізу досліджено мікроструктуру та фазовий склад залізної мішені, які формуються під час легування карбідом кремнію. З метою легування використовували частинки карбіду кремнію сферичної форми із середнім діаметром 50 мкм. З'ясовано, що поєднання комплексної дії багатократного імпульсного механічного ударного впливу та імпульсного струму спричинює надглибоке проникнення SiC у залізну мішень, а також підвищує ефективність легування за рахунок збільшення долі частинок, які потрапляють у неї. З'ясовано, що обробка у зазначених умовах зумовлює формування структури заліза з включенням його силіцидів та частинок порошку SiC. Визначено, що після легування частинки карбіду кремнію мають розміри та форму, які відрізняються від вихідних.

*Ключові слова:* мікроструктура, фазовий склад, карбід кремнію, мішень.

Легування виробів з металів та сплавів порошками різного складу є ефективним способом підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів. Найефективнішими є динамічні способи легування. Однак донедавна вважалось, що частинки під час ударної взаємодії з твердими тілами, які деформуються, можуть потрапляти у них на невелику глибину, яка становить лише декілька їх діаметрів. Водночас у 80-х роках ХХ ст. експериментально було з'ясовано, що у деяких випадках частинки можуть проникати у тверді тіла на глибину, яка перевищує  $10^3$  їх радіусу. Це явище називають ефектом надглибокого проникнення [1]. У праці білоруських вчених [2] зазначені умови, за яких він реалізується. Глибина проникнення частинок із середнім розміром 100 мкм в матеріал перешкоди (мішені) сягає декількох сантиметрів. При цьому частка частинок, яка потрапляє у мішень, становить близько 1%. Розгін частинок здійснюється за допомогою вибухового прискорювача (швидкість частинок досягає 1 км/с).

Недоліками розглянутого методу легування є обмежена кількість порошку, що проникає у матеріал мішені (як було зазначено, близько 1%), а також необхідність застосування складної в експлуатації техніки.

З огляду на це виникла необхідність пошуку нових фізичних підходів та технологічних прийомів для спрощення та підвищення ефективності способу оброблення металів та сплавів, який розглядається.

Вирішенню цих завдань і присвячена ця стаття.

Зразки (мішені) з технічного заліза (99,9% Fe) мали форму пластинки з розмірами  $10 \times 100 \times 0,5$  мм. Використовували частинки карбіду кремнію SiC сферичної форми із середнім розміром 50 мкм. Обробляли зразки на спеціально розробленій установці (рис. 1) за кімнатної температури в умовах комплексної дії вздовж мішені імпульсного струму густиною  $1 \text{ А/мм}^2$  та імпульсного механічного ударного впливу з частотою 50 Гц за сталюю плитою розміром  $20 \times 60 \times 3$  мм, яка розміщується на залізній плиті розміром  $10 \times 15 \times 0,5$  мм, що притискає порошок до мішені. Швидкість міграції частинок у мішень становила 1–2 мкм/с, тривалість впливу – 1 год.

Дослідження мікроструктури виконані з використанням мікроскопа МІМ – 8, електронного мікроскопа марки JEOL у режимі відображених електронів (мікрозондовий аналіз на вміст кремнію). Рентгеноструктурні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН – 3М у Cu-K $\alpha$  випромінненні. Швидкість зйомки становила 0,1 градуса за хвилину.

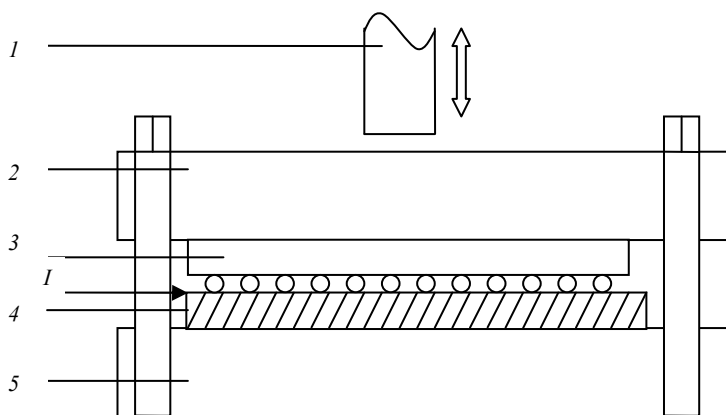


Рис. 1. Схема розміщення плит під час легування залізної мішені карбідом кремнію: 1 – ударник; 2 – сталюа плита; 3 – залізна плита; 4 – залізна мішень; 5 – сталюа плита. Двостороння стрілка вказує напрям руху ударника. Одностороння стрілка вказує напрям протікання струму. Кружечками вказано порошок SiC

Результати дослідження мікроструктури перерізу залізної мішені після легування її порошковими частинками SiC показано на рис. 2. На знімку простежено три області: шар порошку, який не потрапив до мішені (1), область

перерізу мішені, на якій простежено канали, що формуються внаслідок впровадження порошка (2) та тильний бік перерізу, вздовж якого він накопичується (3) після проходження вздовж мішені.

Рентгенограма перерізу залізної мішені після легування порошком SiC показує наявність основної фази силіциду  $\text{FeSi}_2$ ,  $\epsilon$  лінії  $\text{Fe}_3\text{Si}$ ,  $\alpha$ -Fe та SiC. Порівняння отриманої рентгенограми з рентгенограмою для вихідного заліза надало змогу зробити висновок про те, що кількість та інтенсивність ліній для  $\alpha$ -Fe зменшується, натомість вміст силіцидів заліза у мішені збільшується. Відсутність рефлексів від  $\text{Fe}_3\text{C}$  можна пояснити тим, що вуглець, який утворюється під час розпаду SiC переважно знаходиться в атомарному стані в мікротріщинах, які утворюються під час ударної обробки.

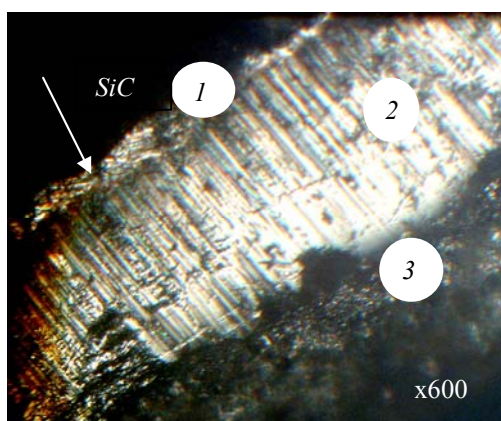


Рис. 2. Мікроструктура перерізу залізної мішені після легування порошком SiC

Результати дослідження мікроструктури перерізу залізної мішені насиченої карбідом кремнію, показано на рис. 3. Зі знімку видно, що розміри та форма частинок SiC досить суттєво відрізняються від їх вихідної сферичної форми. Частинки невеликого розміру, що простежено на знімку, можуть бути силіцидами заліза.

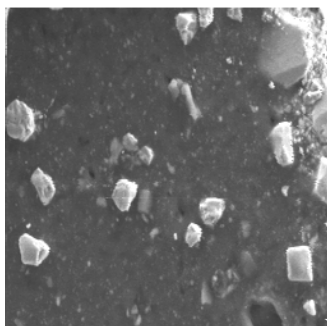


Рис. 3. Електронно мікроскопічний знімок перерізу залізної мішені, насиченої карбідом кремнію

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

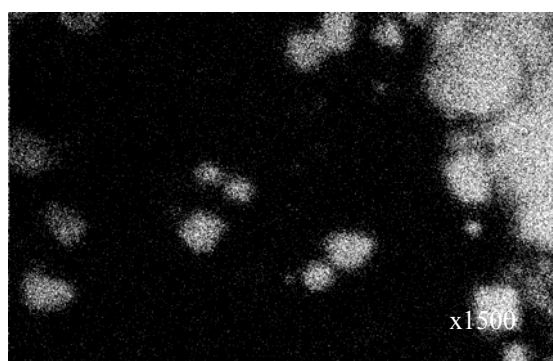


Рис. 4. Розподіл кремнію по перерізу залізної мішені після легування порошком карбіду кремнію, знятий у режимі відображених електронів Si

Експериментальні результати, отримані у цій роботі, можна пояснити так. При імпульсному механічному ударному впливі формується розвинута дислокаційна структура. Водночас, відбувається розпад порошку SiC на складові Si та C подібно до того, як це є у випадку розпаду цементиту при ППД [3]. На наш погляд, структурний стан системи Fe-SiC визначається рівновагою заліза (матриці), порошку SiC та тим, що утворюється внаслідок розпаду SiC на Si та C. Пластична деформація простежена під час ударної обробки, сприяє пришвидшеному переносу атомів вуглецю з SiC до дислокацій з подальшим утворенням атмосфер Коттрелла. Натомість кремній має більше хімічне споріднення до заліза порівняно з вуглецем, тому відбувається розпад SiC з подальшим утворенням силіцидів заліза з різним стехіометричним складом, що

підтверджується даними рентгенофазового аналізу. Комплексний вплив на залізу мішень імпульсного струму та перпендикулярно направлено по відношенню до неї імпульсного ударного механічного впливу сприяє проникненню частинок порошку в неї, внаслідок короткочасного зниження міцності зсуву на фронті ударної хвилі, подібно до того, як це відбувається у випадку надглибокого проникнення частинок в активоване пружно-пластичне середовище [4]. Такий стан, що сприяє проникненню порошкового матеріалу у мішень, досягають за рахунок імпульсного ударного впливу. Посиленню збудження, що спричинює ще більше 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.

Отже, проведення зазначеної обробки зумовлює надглибоке проникнення порошку SiC у залізу мішень, а також підвищує ефективність процесу легування внаслідок збільшення кількості частинок, які потрапляють у неї.

- 
1. *Андилевко С. К., Романов Г. С., Уширенко С. М.* Сверхглубокое проникание дискретных микрочастиц // Всесоюзное совещание по детонации, Красноярск, 1991. С. 38–42.
  2. *Уширенко С. Н.* Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. Минск: НИИ импульсных процессов, 1998. 209 с.
  3. *Гаврилюк В. Г.* Распределение углерода в стали. К.: Наукова думка, 1987. 208 с.
  4. *Колмагоров В. Л., Залазинский А. Г., Залазинская Е. А.* О сверхглубоком проникании частицы в упругопластическую среду // VII Забавихинские научные чтения, Снежинск, 2003. С. 1–16.
  5. *Алексенцева С. Е., Кривченко А. Л.* Анализ условий сверхглубокого проникания порошковых частиц в металлическую матрицу // Журн. техн. физ. 1998. Т. 68. № 7. С. 124–125.

**MICROSCOPIC STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF AN IRON TARGET WHICH ARE FORMED AT ALLOYING BY SILICON CARBIDE****V. Mazanko, E. Khranovskaia, V. Stacenko, E. Ivaschenko<sup>1</sup>**

*G.V. Kurdumov Metalphysics Institute NAS of Ukraine, Nonstationary diffusion Department, Vernadskogo Str., 36, UA-03142 Kiev, Ukraine*

*e-mail: katya@online.com.ua*

<sup>1</sup>*National Technical University of Ukraine ( "Kiev Polytechnical Institute" ), Physics of metals Department, Peremogi Prosp., 37, UA-03056 Kiev, Ukraine*

Microscopic structures and phase composition of an iron target which are formed at alloying by silicon carbide has been investigated by electronic, optical microscopy and X-ray analysis. For alloying used corpuscles of carbide of silicon of the spherical form with average diameter 50 microns. It is established, that the combination of complex act of repeated pulsing mechanical shock agency and a pulsing current leads to superdeep penetration SiC into an iron target, and also raises efficiency of alloying at the expense of increase in a share of corpuscles which get to it. It is shown, that machining in the specified conditions leads to formation of structure of iron with turning on of its silicides and corpuscles of powder SiC. It is established, that after alloying of a corpuscle of carbide of silicon measure also the form which differ from the initial.

*Key words:* microstructure, phase composition, silicon carbide, target.

Стаття надійшла до редколегії 28.08.2007

Прийнята до друку 08.07.2008