



УДК 539.219.3

© 2008

С. М. Захаров, Р. Цях, Т. Р. Ганієв, К. М. Храновська,
Г. К. Харченко

Дифузійні процеси в зоні контакту міді з молібденом

(Представлено членом-кореспондентом НАН України Ю. М. Ковалем)

Diffusion processes in the contact zone of Cu with Mo on their diffusion joining through the ultradisperse layer of Cu are investigated by the method of radioactive isotopes. It is established that the parameters of diffusion of an isotope ^{63}Ni in the contact zone of Cu with Mo essentially depend on the preliminary treatment of samples by argon ions. An asymmetry of the concentration profiles of the distribution of ^{63}Ni in Cu and Mo is observed. A depth of penetration of ^{63}Ni into Cu is greater as compared with that into Mo for all processing modes.

В наш час актуальною залишається проблема отримання якісних з'єднань різнорідних металевих матеріалів у твердому стані, які знаходять широке застосування у промисловій практиці.

Одним з способів вирішення цієї проблеми є дифузійне зварювання крізь тонкі металеві прошарки з ультрадисперсною структурою (діаметром до 100 нм) [1–3]. Застосування вказаних прошарків забезпечує високу дифузійну активність, механічну і термічну активацію поверхонь металів у зоні контакту при дифузійному зварюванні.

Нижче наведено результати дослідження особливостей протікання дифузійних процесів у зоні контакту Cu–Mo при їх дифузійному зварюванні крізь ультрадисперсний прошарок міді після попередньої обробки його Ag^+ . Дана дифузійна пара відрізняється відсутністю розчинності молібдену у міді, що є перешкодою для прямого отримання якісного з'єднання вказаних металів методом дифузійного зварювання [4, 5].

Матеріали та методики експерименту. Експерименти здійснювали на попередньо відпалених зразках молібдену розміром $10 \times 10 \times 1$ мм та міді висотою 5 мм та діаметром 8 мм. Після відпалу проводили електрополірування поверхні обох зразків. На одну з торцевих сторін молібденового зразка електролітичним методом наносили шар радіоактивного ізотопу ^{63}Ni товщиною до 0,5 мкм з вихідною активністю $5 \cdot 10^3$ імп/хв.

Враховуючи зазначену вище особливість пари Cu–Mo, для її якісного з'єднання використовували технологічний спосіб, при якому на поверхню молібдену, із задалегідь нанесеним шаром ізотопу ^{63}Ni , на установці ВУП-5 М методом вакуумного напилення наносили

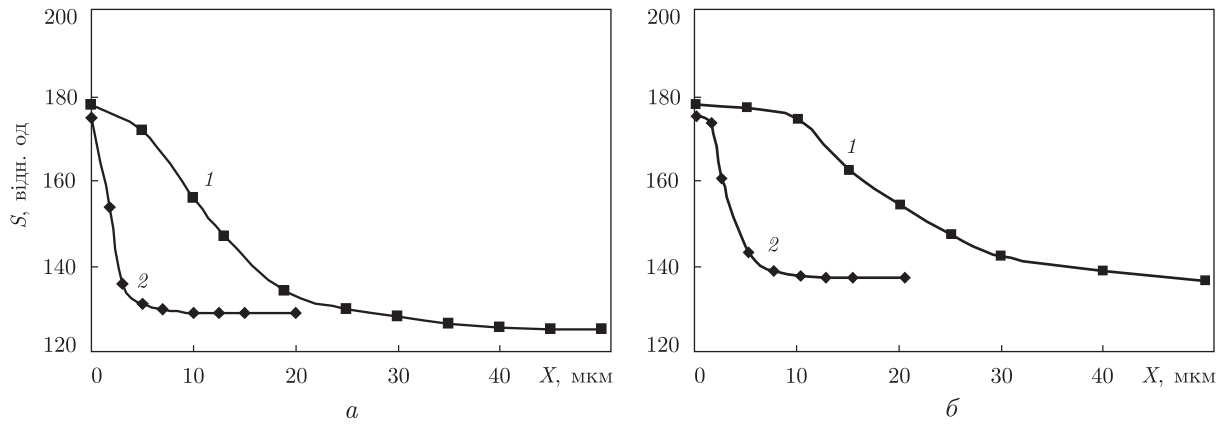


Рис. 1. Концентраційні профілі розподілу ^{63}Ni у молібдені (а) та міді (б) після обробки по режиму I (1) та IV (2)

ультрадисперсний прошарок міді товщиною ~ 1 мкм. З метою створення зони атомної взаємодії молібдену з міддю отримані зразки (молібден з нанесеним шаром ізотопу ^{63}Ni та ультрадисперсним прошарком міді) обробляли іонами аргону (Ar^+). Для можливості визначення впливу обробки Ar^+ на параметри дифузії було обрано контрольний зразок, який не підлягав вказаній вище обробці. Насамкінець проводили дифузійне зварювання отриманого зразка з міддю на лабораторній установці при силі стиснення $1,5 \text{ кгс}/\text{мм}^2$. Режими обробки зразків наведені у табл. 1.

Для побудови концентраційних профілів розподілу ^{63}Ni у Mo та Cu після дифузійного зварювання зразки розрізали перпендикулярно поверхні контакту, полірували, вміщували на рентгенівську плівку РФ-3 та витримували 100 годин. Після проявлення плівки її фотометрували та за отриманими даними будували криві, які відповідали концентраційному розподілу ^{63}Ni у Mo та Cu. Оцінку значень коефіцієнтів дифузії проводили за методикою, яка описана в роботі [6].

Результати та їх обговорення. Аналіз концентраційних профілів розподілу ^{63}Ni у молібдені та міді, після обробки за чотирма режимами, свідчить про те, що ізоотоп проникає на значні глибини (десятки та сотні мікрон) в обох металах (рис. 1, а, б). Однак у міді ізоотоп проникає на більші глибини ніж у молібдені, що призводить до виникнення асиметричності концентраційних профілів його розподілу. Ця асиметричність може бути зумовлена необмеженою розчинністю Ni у Cu та обмеженою розчинністю Ni в Mo, відповідно до діаграми стану Cu–Ni та Mo–Ni [7, 8]. Крім того, слід врахувати і велику різницю в температурах плавлення молібдену та міді, 2620 і 1083 $^\circ\text{C}$ відповідно [9], тобто те, що молібден більш тугоплавкий метал порівняно з міддю.

Таблиця 1. Режими обробки зразків

Зразок	Режим обробки	Тривалість обробки іонами аргону $\tau_{\text{обр}}^{\text{Ar}}$, хв	Прискорююча напруга $U_{\text{приск}}$, В	Тривалість зварювання, $\tau_{\text{зв}}$, хв	Температура зварювання $T_{\text{зв}}$, $^\circ\text{C}$
Контрольний	I	0	0		
1	II	10	1200	20	950
2	III	20	1200		
3	IV	20	2000		

Результати обробки концентраційних профілів розподілу ^{63}Ni у Mo та Cu після обробки за чотирма режимами наведені в табл. 2, звідки випливає, що глибина проникнення ^{63}Ni у мідь є більшою, ніж у молибден для усіх режимів обробки. Водночас відношення цих глибин різне. Максимальне відношення $X_{\text{Cu}}/X_{\text{Mo}}$ отримуємо у випадку реалізації режиму I (без попередньої обробки Ag^+). Очевидно, попередня обробка зразка іонами аргону призводить до збільшення загального дифузійного шару на молибдені за рахунок перемішування атомів прошарку Cu , ізоотопу ^{63}Ni та Mo , внаслідок чого частина атомів ізоотопу ^{63}Ni проникає у Mo , утворюючи псевдодифузійний шар ще до початку зварювання, а у процесі наступного зварювання атоми ^{63}Ni дифундують у Mo вже з певної глибини.

Збільшення тривалості обробки молибдену іонами аргону призводить до істотного зростання глибини проникнення ^{63}Ni у нього, а саме, від 6 до 44 мкм. Отже, варіювання часом попередньої обробки молибдену Ag^+ може значно впливати на розміри зони взаємодії міді з молибденом.

Важливим параметром, що визначає механічні характеристики зварних з'єднань, є коефіцієнт дифузії, який характеризує особливості та закономірності взаємодії матеріалів в багатьох технологічних процесах. Нами було досліджено дифузійні процеси у зоні контакту пари $\text{Cu}-\text{Mo}$ при дифузійному зварюванні. В табл. 3 наведено результати цього дослідження. З їх аналізу випливає, що рухливість ^{63}Ni в міді майже в 3,5 рази перевищує рухливість його у молибдені. Як відзначалося вище, це може бути пов'язано з тим, що температури плавлення молибдену та міді відрізняються майже в три рази та розчинність нікелю в міді є значно вищою. Причому приріст значень ефективних коефіцієнтів дифузії зменшується в процесі зміни режиму обробки у бік збільшення прискорюючої напруги.

Механічні випробування отриманих з'єднань на розрив показали, що їх міцність істотно залежить від режиму обробки (рис. 2). Як випливає з рис. 2, міцність з'єднання пари $\text{Cu}-\text{Mo}$, залежно від режиму обробки, може сягати рівня міцності для чистої міді (235 MN/m^2). Одержаний результат свідчить про доцільність використання методу дифузійного зварювання міді з молибденом крізь ультрадисперсний прошарок міді як ефективного способу отримання якісного з'єднання пари $\text{Cu}-\text{Mo}$.

Таблиця 2. Результати обробки концентраційних профілів розподілу ^{63}Ni у Mo та Cu після обробки за чотирма режимами

Режим обробки	Глибина проникнення ізоотопу ^{63}Ni , X , мкм		$X_{\text{Cu}}/X_{\text{Mo}}$
	Cu	Mo	
I	11	6	1,8
II	26	19	1,4
III	45	33	1,4
IV	60	44	1,4

Таблиця 3. Значення ефективних коефіцієнтів дифузії у зоні контакту $\text{Cu}-\text{Mo}$

Режим обробки	Ефективний коефіцієнт дифузії, $D_{\text{еф}}$, cm^2/c		$D_{\text{еф}}^{\text{Cu}}/D_{\text{еф}}^{\text{Mo}}$	$\lg(D_{\text{еф}})$	
	Cu	Mo		Mo	Cu
I	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$	3,4	-9,3	-9,8
II	$3,22 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	3,22	-8,6	-9,0
III	$8,44 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-9}$	3,7	-8,1	-8,7
IV	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-9}$	3,5	-7,8	-8,4

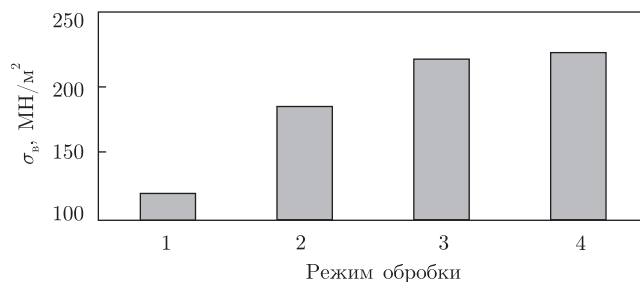


Рис. 2. Залежність міцності зварного з'єднання пари Cu–Mo від режиму обробки

Таким чином, встановлено, що попередня обробка іонами аргону молібдену з ультрадисперсним прошарком міді призводить до збільшення глибини проникнення атомів ^{63}Ni у нього. Показано, що рухливість атомів ізоотопу ^{63}Ni в міді майже в 3,5 рази перевищує рухливість його у молібдені, що може бути пов'язано із більшою розчинністю нікелю в міді, ніж у молібдені, та істотною різницею їх температур плавлення.

Роботу виконано при фінансовій підтримці Міністерства освіти та науки України у рамках українсько-польського науково-технічного проекту (угода № М 201/2006).

1. Каракозов Э. С., Панаєтов В. Г., Тарлавський В. Э., Люшинський А. В. Диффузійна зварка магнітних матеріалів через пористі прошлойки із прокатаних лент // Свар. виробство. – 1984. – № 10. – С. 18–20.
2. Лариков Л. Н., Макара А. М., Назарчук А. Т., Фальченко В. М. О природі дифузійних процесів, відповідальних за утворення з'єднань при зварці в твердій фазі // Фізика і хімія обробки матеріалів. – 1971. – № 4. – С. 113–116.
3. Харченко Г. К., Ткаченко В. Г. Плакірування сталі титаном через прошлойку ванадія // Цветн. метали. – 1996. – № 8. – С. 90–92.
4. Хансен М., Андрейко К. Структури подвійних сплавів. – Москва: Металургіздат, 1962. – 643 с.
5. Берєднікова О. М. Особливості масопереносу та фазоутворення в зоні взаємодії різнорідних металів при зварюванні тиском з імпульсним навантаженням: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2005. – 21 с.
6. Грузин П. Л. Примінення штучно радіоактивних індикаторів для процесів вивчення дифузії в сплавах // Докл. АН СРСР. – 1952. – 86, № 2. – С. 282–288.
7. Рабкін Д. М., Рябов В. Р., Гуревич С. М. Зварка різнородних металів. – Київ: Техніка, 1975. – 208 с.
8. Лякишев Н. П. Діаграми стану подвійних металічних систем. – Москва: Машиностроєніє, 1997. – 1024 с.
9. Самсонов Г. В. Фізико-хімічні властивості елементів. Справочник. – Київ: Наук. думка, 1965. – 807 с.

Інститут металофізики

ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

Інститут металургії та матеріалознавства

ім. А. Крупковського, Краків, Польща

Чернігівський державний технологічний університет

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона

НАН України, Київ

Надійшло до редакції 24.12.2007