

Вплив фрикційної обробки на структуру та механічні властивості нікелевих та нікель-хромових покриттів на міді

С. І. Сидоренко, доктор технічних наук, професор

С. М. Чернега, доктор технічних наук, професор

Л. Д. Демченко, кандидат технічних наук

Ю. В. Нестеренко

Рен Тіецен*, професор

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

*Технологический университет, ХеВей, Тяньцзинь, Китай

Досліджено вплив фрикційної обробки на структуру та механічні властивості нікелевих та Ni – Cr покриттів на міді. Встановлено, що в результаті фрикційної обробки покриття стають більш однорідними, в них зникають макроскопічні дефекти і з'являється прошарок твердого розчину між покриттям та матрицею. Спостерігається підвищення мікротвердості за рахунок того, що середній розмір зерен в поверхневих шарах знижується до нанорозмірного рівня.

Особливе значення серед методів обробки поверхні покриттів, отриманих мікроплазмовим методом, має обробка поверхні фрикційним методом. Використання фрикційної обробки поверхневого шару дозволяє отримувати бездефектні шари з високими механічними характеристиками, при цьому вдається уникнути недоліків, притаманних традиційним методам нанесення покриттів [1 – 3]. Фрикційна обробка дозволяє суттєво підвищувати експлуатаційні властивості деталей з покриттями, нанесеними мікроплазмовим методом, які достатньо широко використовують в промисловості. Всім їм у вихідному стані властиві такі загальні недоліки, як низька міцність самого шару, його мала адгезія до основи, висока поруватість. В результаті фрикційної обробки, яка полягає в зворотно-поступальному терті з додатковим обертанням навколо своєї осі контртіла і можливістю прикладати навантаження різної величини, значно збільшується адгезія покриття, одночасно підвищується його твердість, зносостійкість [4 – 6]. Отже, в останній час перспективним методом фінішної обробки поверхні є нова методика фрикційної обробки тертям з перемішуванням.

Згідно досліджень, проведених в [7 – 10], в поверхневих шарах нікелевого покриття можна виділити зону, що складається з нанорозмірних зерен нікелю, яка характеризується підвищеною мікротвердістю до 2,6 ГПа. Базуючись на цьому, в даній роботі було зроблено спробу нанести тонкі шари

листового матеріалу методом фрикційної обробки або порошку нікелю чи системи Ni – Cr (мікроплазмовим методом) на поверхню мідної заготовки з наступною фрикційною обробкою плоским інструментом (піном). Переваги цього методу такі: відсутність дефектної частини в місці занурення піна, формування поверхневого шару із зернами нанорозмірного рівня.

Метою роботи є встановлення структури та властивостей поверхневих шарів, отриманих в процесі фрикційної обробки .

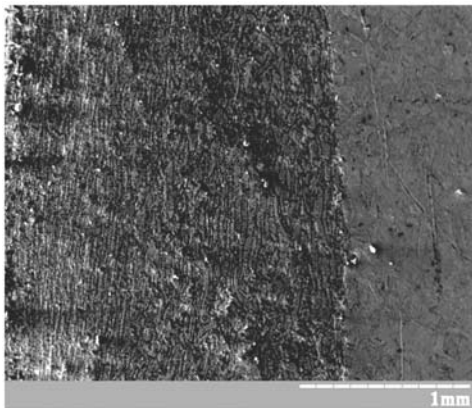
Матеріалами для дослідження були покриття з нікелю або Ni – Cr, отримані на поверхні мідної заготовки зі сплаву М1 у вигляді тонких шарів мікроплазмовим методом напилення порошку або фрикційною обробкою листового матеріалу та їх наступною фрикційною обробкою плоским інструментом (табл. 1).

Таблиця 1

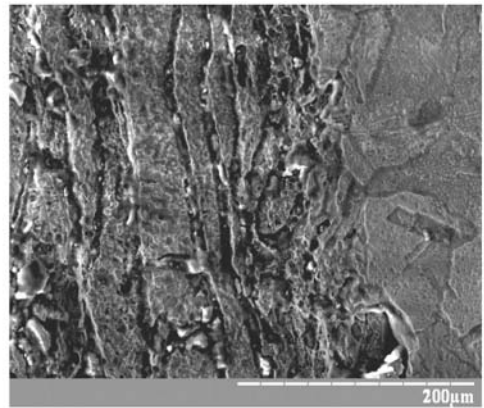
Досліджені мікроплазмові нікелеві покриття на міді марки М1 після фрикційної обробки

Номер зразка	Покриття та метод їх нанесення на мідь марки М1	Режими наступної фрикційної обробки
1	Порошок нікелю, мікроплазмове напилення	швидкість обертання 1650 обертів за год
2	Лист нікелю марки Н1 товщиною 2 мм, фрикційна обробка	швидкість переміщення інструменту 50 мм/с
3	Лист сплаву ЧС70 товщиною 2 мм, фрикційна обробка	-

Мікроструктура покриття, отриманого мікроплазмовим нанесенням нікелю на мідь М1 (зразок 1), наведена на рис. 1. Товщина покриття в даному випадку дорівнює 20 мм, покриття має шарувату структуру, характерну для цього методу нанесення. За товщиною покриття наявна залишкова пористість, перехідна зона “покриття-матриця” виражена чітко, утворення твердих розчинів на межі розподілу не виявлено. Мікротвердість поверхневого шару в даному випадку досягає 1,2 ГПа.



а



б

Рис. 1. Мікроструктура нікелевого покриття, отриманого методом мікроплазмового нанесення (а) та структура межі розподілу нікелеве покриття-матриця (б).

Після проведення фрикційної обробки за режимом, наведеним в табл. 1, спостерігається ущільнення структури отриманих покриттів та суттєве зменшення пористості. Мікроструктура покриття, отриманого даним методом, наведена на рис. 2. Середній розмір структурних складових дорівнює 3 – 4 мкм. Границя розподілу покриття-матриця рівномірна з наявністю твердого розчину нікелю в міді.

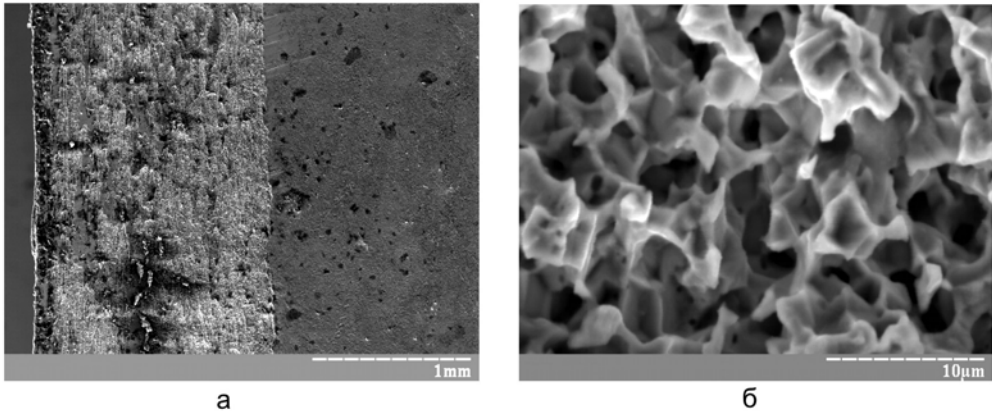


Рис. 2. Мікроструктури нікелевого покриття, отриманого методом мікроплазмового нанесення нікелю на мідь марки М1 з наступною фрикційною обробкою.

Мікротвердість зразка на поверхні нікелевого покриття досягає 2,0 ГПа. Залежність мікротвердості за глибиною зразка наведено на рис. 3. Зростання значення мікротвердості в поверхневих шарах нікелевого покриття можна пояснити суттєвим зменшенням розміру структурних складових.

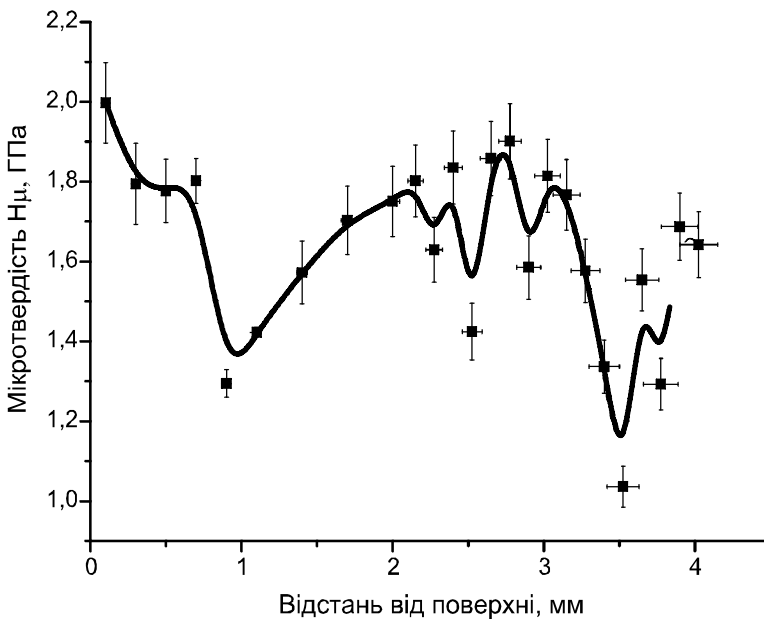


Рис. 3. Розподіл мікротвердості за глибиною нікелевого покриття, отриманого методом мікроплазмового нанесення з наступною фрикційною обробкою.

Після фрикційного нанесення листа з нікелю марки Н1 на основу міді марки М1 формується покриття, мікроструктура якого наведена на рис. 4. В поверхневому шарі покриттів даного типу чітко вирізняється шар дрібних кристалів, розміри яких за допомогою оптичної металографії визначити неможливо. Структура отриманого покриття однорідна, макродефектів в поперечному перерізі отриманих зразків не виявлено. Методом скануючої електронної мікроскопії встановлено, що в поверхневому шарі матеріалу (глибиною до 1 мм) формується структура, яка складається з витягнутих нікелевих зерен товщиною 40 – 60 нм, прошарки між якими заповнені рівновісними дрібнодисперсними зернами нікелю.

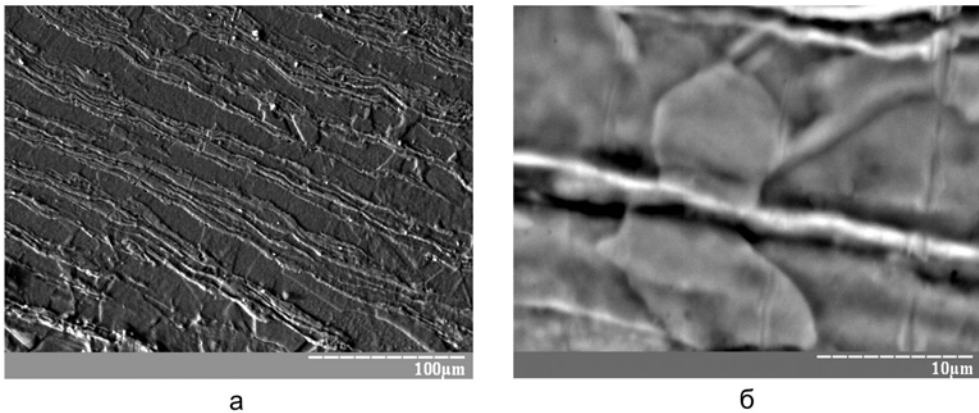


Рис. 4. Мікроструктура нікелевого покриття, нанесеного методом фрикційної обробки з листа нікелю. а – $\times 400$, б – $\times 4000$.

Мікротвердість поверхнього шару покриття нікелю після фрикційної обробки досягає значення 2,8 ГПа, що більш, ніж у два рази перевищує мікротвердість вихідного нікелевого листа. Залежність мікротвердості за глибиною покриття для зразка після фрикційної обробки наведена на рис. 5.

Зміцнення поверхнього шару в даному випадку можливо пояснити як наявністю текстури, так і подрібненням зерна. Середній розмір зерна в зразках нікелевого листа становив 150 – 200 мкм. Після нанесення покриття середній розмір зерна на глибині приблизно 1 мм від поверхні становить 5 – 7 мкм. А в поверхневих шарах знижується до нанорозмірного рівня розміром 40 – 50 нм (встановлено методом рентгеноструктурного аналізу за ефектом первинної екстинкції).

Для контролю фазового складу отриманих покриттів та орієнтовного визначення розмірів областей когерентного розсіяння в поверхневих шарах отриманих покриттів було проведено дослідження отриманих зразків методами рентгеноструктурного аналізу. Фазовий склад покриття в даному випадку нікель. Перерозподіл інтенсивності та напівширини інтерференційних максимумів (111) та (222) свідчить як про наявність текстури, так і подрібнення областей когерентного розсіювання (ОКР) D в нікелі. Результати визначення розміру ОКР наведено в табл. 2.

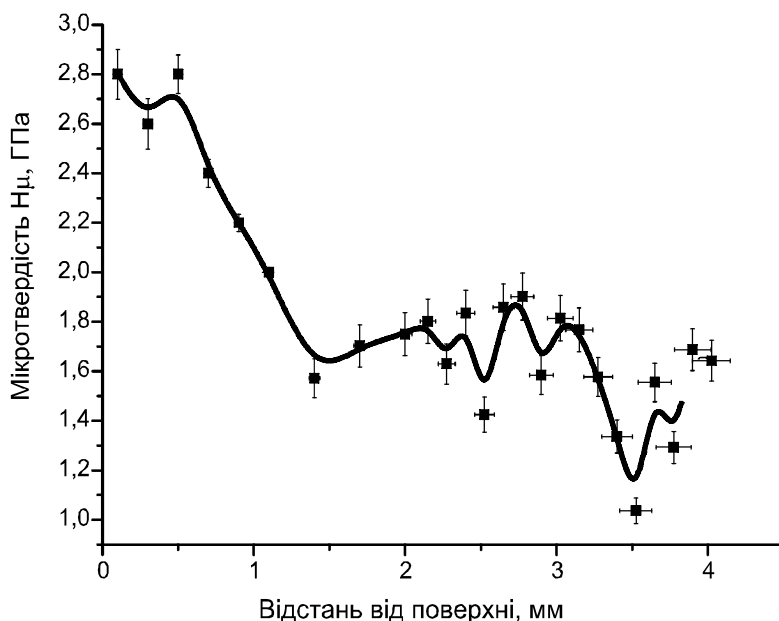


Рис. 5. Розподіл мікротвердості за глибиною нікелевого покриття, нанесеного методом фрикційної обробки з листа нікелю.

Таблиця 2

Визначення розміру ОКР за ефектом первинної екстинкції

Зразок	Досліджена рентгенівська лінія (HKL)	I, інтенсивність рентгенівської лінії	d_{HKL} , Å	Розмір ОКР D, нм
Еталон	(111)	8900	1,022	1000
Зразок № 2	(111)	2800	1,019	200

При нанесенні фрикційним методом покриття на основі сплаву ЧС 70Л динаміка процесу зберігається, але відбувається руйнування інструменту для фрикційної обробки поверхні і насичення поверхневих шарів матеріалу частками карбиду вольфраму. Відповідна мікроструктура наведена на рис. 6.

Дослідженнями впливу фрикційної обробки на структуру та механічні властивості нікелевих та Ni – Cr покриттів на міді встановлено, що в результаті фрикційної обробки покриттів, отриманих методом мікроплазмового нанесення, покриття стають однорідними з відсутністю макроскопічних дефектів та наявністю прошарку твердого розчину на основі міді між покриттям та матрицею. При використанні масивних листових матеріалів для отримання покриття спостерігається підвищення їх мікротвердості до рівня 2,8 ГПа. Фазовий склад зразків в процесі фрикційного нанесення покриттів не змінюється. В поверхневому шарі матеріалу (глибиною до 1 мм) формується структура, яка складається з витягнутих зерен нікелю товщиною 3 – 10 мкм, прошарки між якими заповнені рівноосними дрібнодисперсними зернами

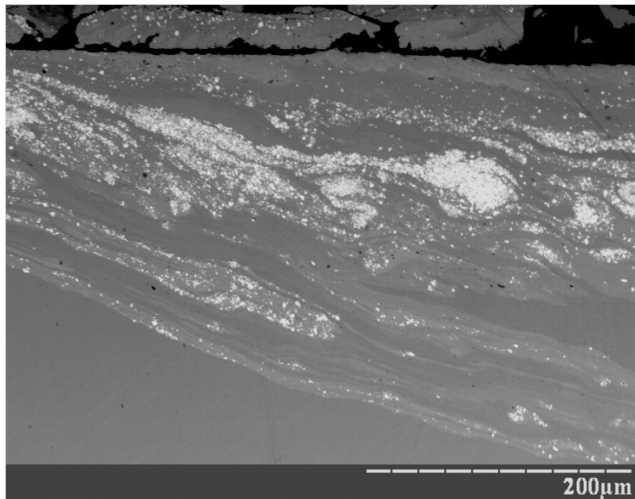


Рис. 6. Мікроструктура покриття на основі сплаву ЧС70Л, отриманого методом фрикційної обробки з масивного матеріалу.

нікелю. В результаті фрикційної обробки покриттів середній розмір зерна на глибині порядку 0,5 мм від поверхні становить 5 – 7 мкм, а в поверхневих шарах знижується до нанорозмірного рівня 50 – 60 нм. Результати досліджень можуть бути використані для розробки промислової технології модифікування поверхні.

Література

1. Okamura H., Aota K., Erumi M. Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure. // J. of Jap. Institute of Light Metals. – 2000. – 50, № 4. – P. 166 – 172.
2. Okamura H. Character of friction stir welding and application in Japan. // J. of Jap. Weld. Soc. – 2000. – 69, № 7. – P. 11 – 17.
3. Kumaqai M., Tanaka S. Application of friction stir welding to welded construction of aluminium alloys. // J. of Light Metal Welding Constr. – 2001. – 39, № 1. – P. 22 – 28.
4. Fukuda T. Friction stir welding [FSW] process. // J. of Jap. Weld. Soc. – 2000. – 69, № 7. – P. 6 – 10.
5. Dawes C.J. An introduction to friction stir welding and its development. // Welding and Metal Fabric. – 1995. - № 1. – P. 13 – 16.
6. Dawes C.J., Thomas W.M. Friction stir process welds aluminium alloys. // Welding J. – 1996. – № 3. – P. 41 – 45.
7. Сидоренко С.І., Мохорт В.А., Нестеренко Ю.В. Вплив високоенергетичного оброблення на структуру захисно-відновлювальних покриттів для лопаток газових турбін та величину залишкових макронапружень в їх приповерхневих шарах. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2010. – 32, № 2. – С. 255 – 260.
8. Сидоренко С.І., Мохорт В.А., Нестеренко Ю.В. Особенности формирования структуры при наплавке меди М1 методом НТ. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2010. – 32, № 9. – С. 1277 – 1282.

9. Троян А.О., Мохорт В.А., Зеленин Е.В. “Ротаційне зварювання тертям”. Четверта міжнародна конференція студентів та аспірантів „До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп’ютерного конструювання матеріалів”, 15 – 18 грудня 2009 р., Київ.
10. Нестеренко Ю.В., Івахненко Н.С. «Структурні зміни та фазові перетворення в покриттях на жароміцних Ni – Cr сплавах при високоенергетичній обробці». Четверта міжнародна конференція студентів та аспірантів “До високих технологій на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп’ютерного конструювання матеріалів”, 15 – 18 грудня 2009 р., Київ.

Одержано 18.03.13

С. И. Сидоренко, С. М. Чернега, Л. Д. Демченко, Ю. В. Нестеренко, Рен Тиэцен

Влияние фрикционной обработки на структуру и механические свойства никелевых и никель-хромовых покрытий на меди

Резюме

Исследовано влияние фрикционной обработки на структуру и механические свойства никелевых и Ni – Cr покрытий на меди. Установлено, что в результате фрикционной обработки покрытия становятся более однородными, у них исчезают макроскопические дефекты и появляется слой твердого раствора между покрытием и матрицей. Наблюдается повышение микротвердости за счет того, что средний размер зерен в поверхностных слоях снижается до наноразмерного уровня.

S. I. Sidorenko, S. M. Chernega, L. D. Demchenko, Y. V. Nesterenko, Ren Tiezhen

The effect of friction treatment on structure and mechanical properties of nickel and nickel-chromium coatings on copper

Summary

The influence of frictional treatment on the structure and mechanical properties of Ni and Ni – Cr coatings on copper was studied. As a result of frictional treatment the coatings become more homogeneous, their macroscopic defects disappear and a layer of solid solution forms between the coating and the matrix. There is an increase of microhardness due to the fact that the average grain size in the surface layers decreases to nanodimension level.