

УДК 669.47:539.89:539.219

Мазанко В.Ф., докт. техн. наук, професор  
 Філатов О.В., докт. фіз.-мат. наук  
 Павлюк Я.О., інженер  
 Герцрікен Д.С., канд. фіз.-мат. наук  
 Богданов С.Є., канд. фіз.-мат. наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [vmazanko@imp.kiev.ua](mailto:vmazanko@imp.kiev.ua)

### СТВОРЕННЯ ВЕС ПОКРИТТІВ AlFeNiCoCuCr НА СТАЛІ 3 МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ)

Розглянемо мікротвердість і фазовий склад покриття та дифузійної зони, отриманих при різних режимах ЕІЛ. В таблиці 1 представлені номери зразків, та зазначена відповідність мікротвердості ( $H_V$ ) та режимів ЕІЛ (I).

На рис. 1 представлені гістограми, що характеризують рівень мікротвердості на поверхні зразків № 2 (а), №3 (б) та №4 (в) при силі струму електроіскрової обробки 0,6А (а, б) і 1,2А (в).

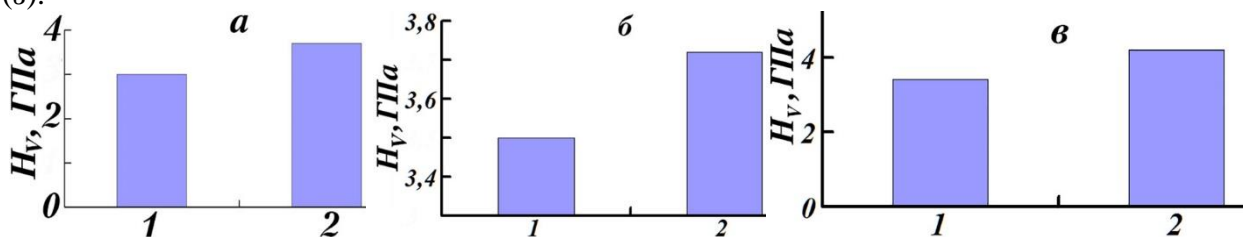
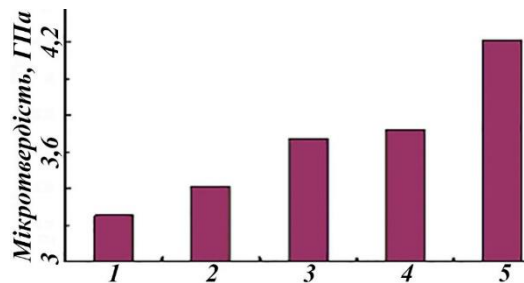


Рис. 1 – Гістограми мікротвердості до (1) та після ЕІЛ (2) зразків № 2 (а), №3 (б) та №4 (в) при силі струму ЕІЛ 0,6А (а, б) і 1,2А (в).

Аналіз представлених гістограм свідчить про те, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Зразок №2 після електроіскрового легування має міцність 3,67 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 1,23. Зразок №3 після електроіскрового легування має міцність 3,73 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 1,07. На поверхні утворився шар високоентропійного сплаву, який підвищив мікротвердість зразка.

Рис. 2 – Гістограма мікротвердості зразків № 1 – 5 (табл. 1).



На рис. 1, в представлена гістограма, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні зразка № 4 при силі струму електроіскрової обробки 1,2 А. Зразок після електроіскрового легування має міцність 4,21 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 1,24.

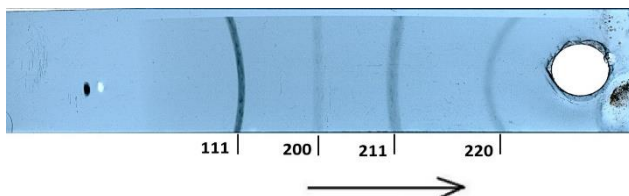


Рис. 3 – Рентгенограма зразку сталі Ст 3 у вихідному стані.

З рис. 2 видно, що ЕІЛ сталі 3 ВЕСом призводить до підвищення мікротвердості поверхні зразку. Максимальне значення досягається при ЕІЛ по такому режиму  $I = 1, 2 \text{ А}, \tau = 2 \text{ хв}$ .

На рис. 3 представлена рентгенограма зразка сталі Ст 3 в вихідному стані. Як

витікає з аналізу вказаної рентгенограми, основою є  $\alpha$ -Fe. При електроіскровому легуванні сталі Ст3 анодом AlFeNiCoCuCr, рентгенограма з покриттям суттєво змінюється (рис. 6 а, б).

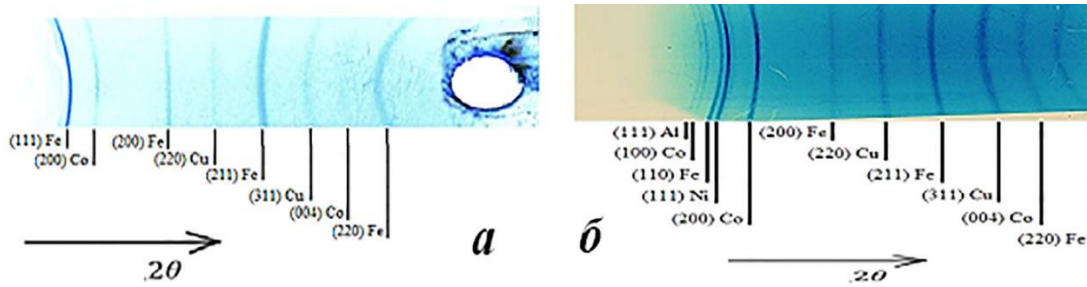


Рис. 4 – Рентгенограма від зразка №2 (а) та №3 (б) після ЕЛЛ.

Аналіз рентгенограм свідчить, що в процесі легування сталі Ст3 сплавом AlFeNiCoCuCr в поверхневому шарі зразка відбувається утворення фаз в яких присутні елементи які входять в склад аноду, катоду і оточуючого середовища. Присутній оксид заліза, який утворюється при окисненні металічної основи (Ст 3) в процесі легування.

В таблиці 2 наведено розрахунки рентгенограми (рис. 4 а).

Таблиця 1 – Відповідність  $H_v - I$

| № | Матеріал | $H_v$ , ГПа | I, А  |
|---|----------|-------------|-------|
| 1 | Fe       | 3,25        | -     |
| 2 | Ст3      | 3,41        | -     |
| 3 | Ст3+ВЕС  | 3,67        | 0,6 А |
| 4 | Ст3+ВЕС  | 3,72        | 1 А   |
| 5 | Ст3+ВЕС  | 4,21        | 1,2 А |

Таблиця 2 – Розрахунок рентгенограми за рис. 4

| $\theta$ , град | d/n, Å | hkl | Me |
|-----------------|--------|-----|----|
| 25,5            | 2,248  | 111 | Al |
| 26,3            | 2,181  | 100 | Co |
| 28,5            | 2,029  | 110 | Fe |
| 29,3            | 1,978  | 111 | Ni |
| 33,1            | 1,771  | 200 | Co |
| 43,2            | 1,414  | 200 | Fe |
| 49,5            | 1,271  | 220 | Cu |
| 56,5            | 1,161  | 211 | Fe |
| 63,5            | 1,081  | 311 | Cu |
| 68,3            | 1,042  | 004 | Co |
| 73,2            | 1,011  | 220 | Fe |

Механічні властивості ВЕС покриттів на сталі 3 після ударної обробки представлені на рис.5, 6. Вивчений вплив товщини вихідного покриття та кількості ударів на  $H_v$ .

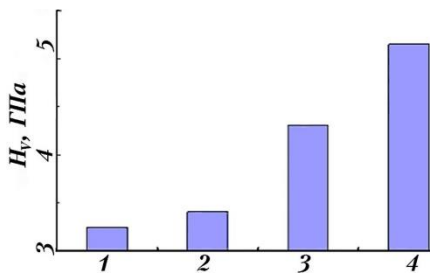


Рис. 5 – Мікротвердість зразків: 1 – Fe, 2 – сталь 3, 3 – сталь 3 + ВЕС (2 хв.), 4 - сталь 3 + ВЕС (3 хв.), 1 удар

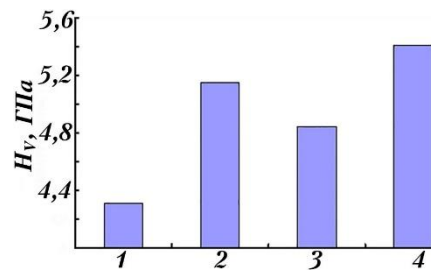


Рис. 6 – Мікротвердість зразків з покриттям (1 – 30 мкм, 2 – 120 мкм, 1 удар) та (3 – 30 мкм, 4 – 120 мкм, 2 удари)

Отже можна зробити такі висновки:

1. Зі зростанням анодного струму від 0,6 до 1,2 А збільшується товщина покриття та його мікротвердість.
2. Згідно рентгеноструктурних даних до складу ВЕС покриття крім компонентів AlFeNiCoCuCr входять оксиди заліза, які утворюються за рахунок дифузії атомів заліза у покриття та їх взаємодії з киснем повітря в процесі ЕЛЛ.
3. Імпульсна ударна обробка призводить до зміцнення ВЕС покриття, при цьому із збільшенням кількості ударів зростає мікротвердість поверхні.