

З.А. Дурягіна, Н.В. Щербовських, В.Я. Підкова  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра фізики металів та прикладної фізики

## ВПЛИВ РЕЖИМІВ ІОННОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ АЗОТОМ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ КОРОЗІЙНОТРИВКИХ СТАЛЕЙ

© Дурягіна З.А., Щербовських Н.В., Підкова В.Я., 2011

**Проаналізовано розподіл хімічних елементів за глибиною утвореного шару на сталях ЭИ-844, 12Х18Н10Т залежно від режиму іонної імплантації.**

**Analyzed the distribution of chemical elements in the depth layer formed on the steels ЭИ-844, 12Х18Н10Т depending on the mode of ion implantation.**

**Вступ.** Сучасні променеві технології є одним із ефективних технологічних підходів інженерії поверхні, що широко застосовується на практиці. Особливо це стосується методу іонної імплантації, динамічний розвиток якої супроводжується удосконаленням устаткування, що дає нові можливості цілеспрямованої зміни властивостей.

Іонна імплантація дає змогу змінювати хімічний склад, структуру та фазовий стан поверхневих шарів, а це, своєю чергою, уможлиблює підвищення їх корозійно-механічних та функціональних властивостей. Слід зазначити, що іонна імплантація має низку переваг порівняно з іншими методами поверхневої обробки, а саме: дає можливість вводити атоми будь-якого елемента в тверде тіло; зменшує витрати електроенергії та робочого газу; процес відбувається за порівняно низької температури; не спостерігається помітних змін габаритних розмірів виробу; процес добре контролюється [1–3].

**Мета роботи** – вивчити вплив режимів іонної імплантації азотом на характер структуроутворення поверхневих шарів сталей ЭИ-844, 12Х18Н10Т.

Іонну імплантацію проводили на установці ИОН - 20И2 (фірми «ЭФТТОМ-ИОН», Болгарія), що має такі основні технологічні характеристики: технологічний газ – аміак, тиск аміаку – від 1 до 6 мбар при витратах 20 л/год, струм в імпульсі – від 0 до 60 А, напруга в імпульсі – від 0 до 800 В, частота імпульсів – 10 кГц, максимальна температура процесу – 600 °С. Можливості установки дають змогу завдяки змінам тиску аміаку, інтенсивності тліючого розряду отримувати дифузійні шари у широкому спектрі структур, коли у твердому розчині можливо будуть присутні  $g'$  – фаза складу  $FeMe_4N$  чи  $e$  – фаза складу  $FeMe_{2,3}N$ . Обробку проводили за режимами, наведеними у таблиці. Режими підібрані експериментально, з огляду на підвищення корозійно-механічної стійкості поверхні виробів, що обробляються. Металографічний аналіз торцевих мікрошліфів здійснювали на установці МЕТАМ РВ-21, а локальний мікрорентгеноспектральний аналіз на приладі JEOL JSM-6490LV. Для оцінки механічних властивостей сформованого шару провели вимірювання мікротвердості на приладі ПМТ-3 та розрахували характеристику пластичності за методикою мікроідентування [4 – 6].

Таблиця 1

**Режими іонної імплантації азотом**

Режими обробки	Марка сталі	Витримка, год.	Температура, °С	Тиск, мБар
I	12Х18Н10Т	2	580	3
	ЭИ-844			
II	12Х18Н10Т	2	580	5,5
	ЭИ-844			

Сформовані шари досліджували металографічно. Варто зазначити, що під час травлення класичними реактивами для корозійностійких сталей азотований шар перетравлюється, тому ми вибрали реактив – 3 %-й розчин  $\text{HNO}_3$  з гліцерином у співвідношенні (30 : 70) %, основу сталі цей реактив не протравлює. В усіх випадках спостерігається різний структурний стан. Після іонної імплантації азотом сформувалися два шари: на сталі 12X18H10T перший – завтовшки 41 мкм, а другий – 26 мкм, причому перший шар протравився набагато гірше, ніж другий, і є однорідним за будовою. На рис. 1, а бачимо дендритні кристали, що формувалися від основи до поверхні у другому шарі, тоді як для сталі ЭИ-844 (рис. 1, б) добре виражена в обох шарах зерниста структура, причому величина зерен збільшується від поверхні до основи шару. Товщина першого шару – 20 мкм, а другого – 22 мкм. Вплив режиму II на структуру досліджуваних зразків є неоднозначним. Для сталі ЭИ-844 (рис. 1, г) сформовано два шари завтовшки по 26 мкм, що є однорідними за своєю будовою. У його верхній частині спостерігається викришування поверхні. Це може бути спричинено формуванням нітридних фаз, що мають високу твердість та крихкість. Мікроструктура поверхневого шару на сталі 12X18H10T складається з темних та світлих ділянок (рис. 1, в). У цьому випадку сформувалися три імплантовані шари завтовшки відповідно 13, 20 та 26 мкм, причому другий шар істотно перетравлений. Дрібнодисперсними світлими ділянками, очевидно, можуть бути нітриди титану.

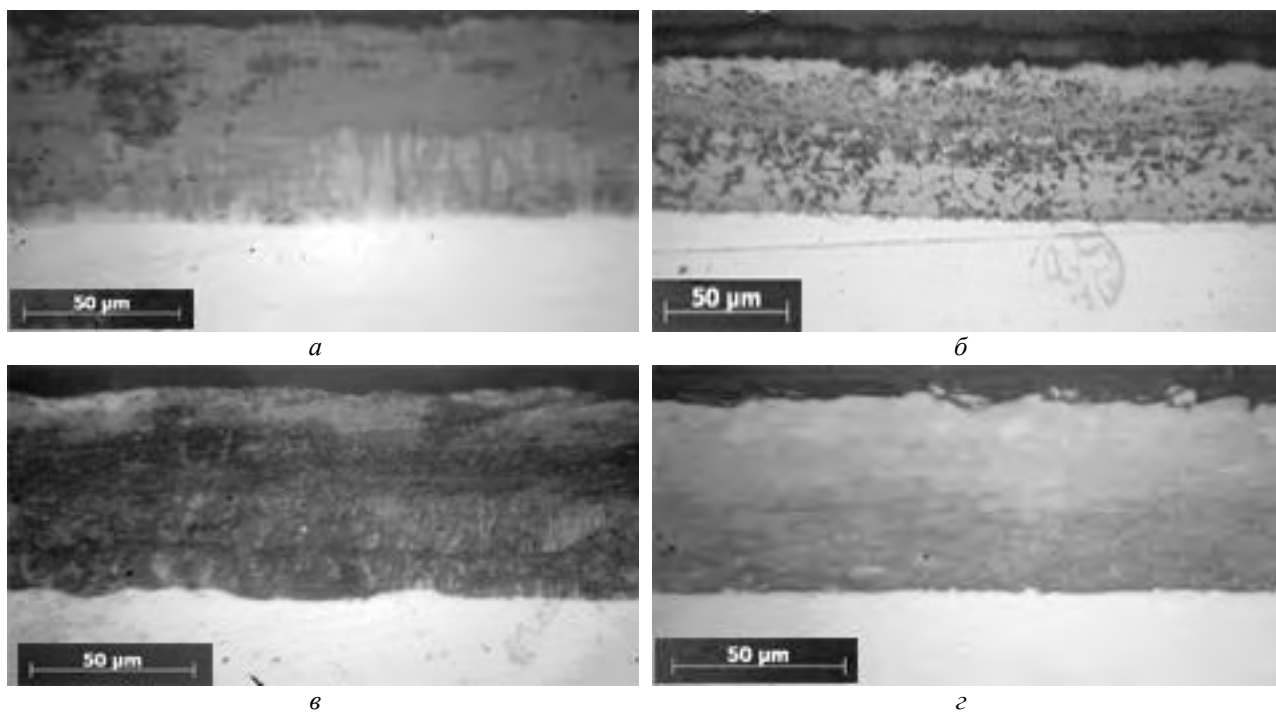


Рис. 1. Мікроструктура азотованого шару сталей: за режимом I – 12X18H10T (а) і ЭИ-844 (б); за режимом II – 12X18H10T (в) і ЭИ-844 (г)

Проведений мікрорентгеноспектральний аналіз підтвердив наявність азоту у сформованому шарі. Встановлено, що азот був імплантований на глибину до сімдесяти мікрометрів. Його вміст рівномірно зменшується від 22,14 мас. % на глибині 0,059 мм (рис. 2.) до 2,66 мас.% на глибині 0,062 мм (рис. 4.) від поверхні вглиб зразка. Завдяки цьому формується градієнтність властивостей від поверхні до основи матеріалу, що є дуже важливо, оскільки традиційно вважалось, що методом іонної імплантації формується шар завглибшки до одного мікрометра.

Порівнюючи вплив першого режиму на структуру сталей ЭИ-844, 12X18H10T, варто зазначити, що його дія виявилась неоднозначною. Для сталі 12X18H10T (рис. 2) спостерігається рівномірний розподіл елементів. Найбільша насиченість азоту відповідає глибині 0,006 мм і становить 10,94 мас.%. У сформованому шарі на сталі ЭИ-844 (рис. 3) спостерігається різка зміна концентрації елементів за глибиною. Вміст заліза та нікелю різко зменшується від 48,32 до

12,47 мас.% і від 12,90 до 8,69 мас.% відповідно. Вміст хрому, азоту і молібдену зростає до глибини 0.059 мм. Пік вмісту азоту перевищує 20 мас.%.

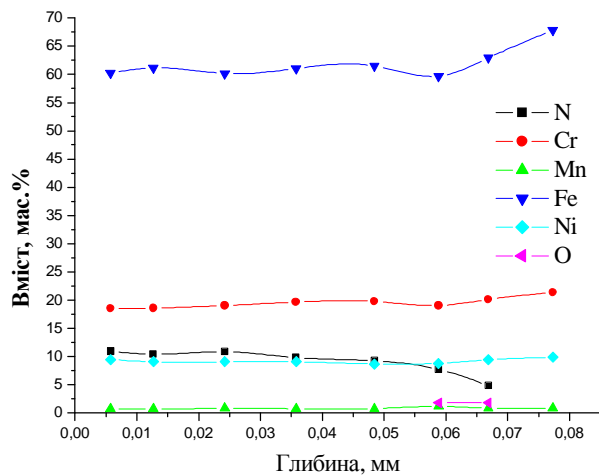


Рис. 2. Розподіл хімічних елементів за глибиною шару у сталі 12X18H10T після іонної імплантації в атмосфері азоту ( режим I)

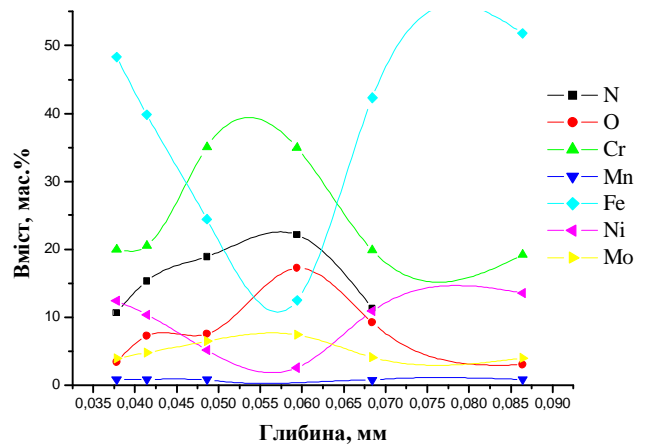


Рис. 3. Розподіл хімічних елементів за глибиною шару у сталі ЕИ-844 після іонної імплантації в атмосфері азоту ( режим I)

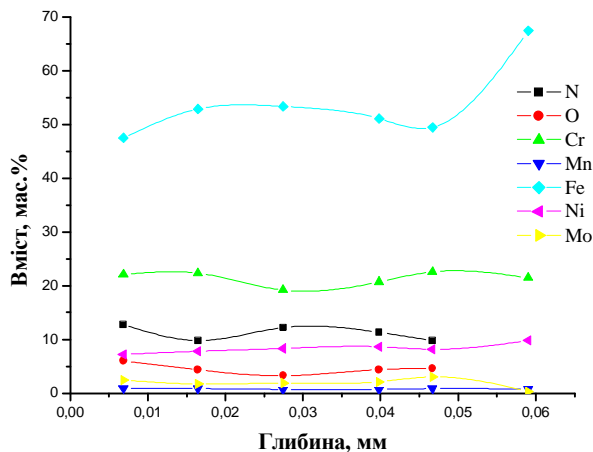


Рис. 4. Розподіл хімічних елементів за глибиною шару у сталі 12X18H10T після іонної імплантації в атмосфері азоту ( режим II)

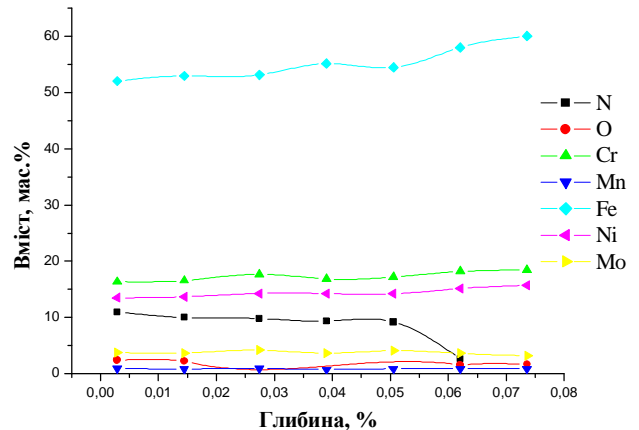


Рис. 5. Розподіл хімічних елементів за глибиною шару у сталі ЕИ-844 після іонної імплантації в атмосфері азоту ( режим II)

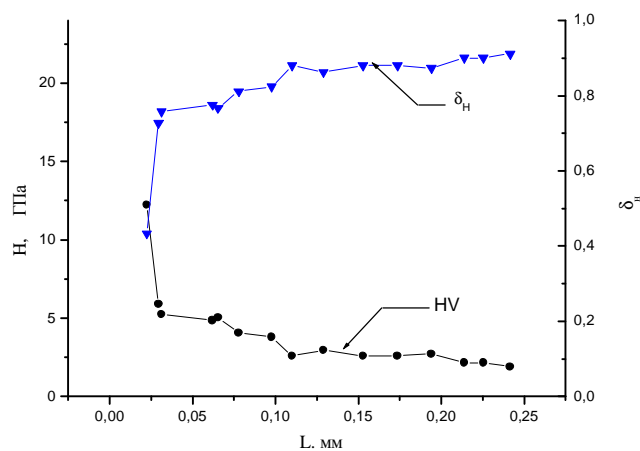


Рис. 5. Залежність характеристики пластичності та мікротвердості від глибини імплантованого шару сталі 12X18H10T ( режим I)

Під час обробки за режимом II насиченість поверхні азотом не перевищує 11 мас.% (рис. 4, 5). На сталі ЭИ-844 сформовано шар більшої товщини (0,062 мм) порівняно із сталлю 12X18H10T (0,046 мм).

В усіх випадках виявлено наявність кисню. Його найбільшу концентрацію спричиняє обробка за режимом I. Пік концентрації становить 20 мас.%.

Характеристику пластичності  $\delta_H$  розраховували за формулою

$$d_H = 1 - 14,3 \cdot (1 - n - 2 \cdot n^2) \cdot \frac{HV}{E},$$

де  $E$  – модуль пружності;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  $HV$  – мікротвердість за Вікерсом [4].

Встановлено, що характеристика пластичності сталі 12X18H10T після іонної імплантації за режимом I збільшується від 0,43 до 0,81 на глибині від 0,022 до 0,078 за навантаження 1Н (рис. 5).

Мікротвердість зменшується відповідно від 12,24 до 4,06 ГПа. Це підтверджує висновок, що будова імплантованого шару градієнтна за глибиною. Причому на поверхні найімоварніше утворився крихкий  $\epsilon$ -шар. Інтегральна характеристика пластичності основи сталі становить 0,88–0,91.

**Висновки** За вибору режиму іонної імплантації важливими є оптимальні параметри тиску робочого газу та температури обробки. Необхідно враховувати те, що в результаті бомбардування поверхні металу йонами азоту можливе вибивання атомів інших хімічних елементів з вузлів кристалічної ґратки підкладки. Такий ефект може спричинити локальну анізотропію властивостей сформованого шару. Крім того, на поверхні утворюється крихка  $\epsilon$ -фаза.

Застосування сучасного обладнання для іонної імплантації забезпечує формування шару завтовшки близько 0,01 мм.

1. Riviere J.P., Meheust P., Villain J.P. Vear resistance after low-energy high-flux nitrogen implantation of AISI 304L stainless steel // *Surf. Coat. Technol.* – 2002. – V. 158–159. – P. 647–652.
2. Нестеров А.В. Исследование и разработка экономно легированной ферритной жаростойкой стали для системы выхлопного тракта автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 15.06.2000 / Нестеров А.В. – Запорожье, 2000. – 120 с.
3. Ионная химико – термическая обработка сплавов // Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Алексеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.
4. Milman Yu.V., Galanov B.A., Chugunova S.I. Plasticity characteristic obtained through hardness measurement // *Acta. Metall. Mater.* – 1993. – Vol. 41, № 9. – S. 2523–2532.
5. Milman Yu.V. High-Strength Aluminium Alloys // In «*Metallic Materials with High Structural Efficiency*»/ Eds. O. Senkov, D. Miracle, S. Firstov). NATO Science Series. II. Mathematics, Physics and Chemistry. – Kluwer Academic Publishers. – 2004. – V. 46. – P.139–146.
6. Юркова О.І., Білоцький О.В., Бякова О.В. Визначення механічних характеристик азотованих шарів на сплавах заліза методом локального навантаження жорстким пірамідальним індентором // "Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2005. – № 5. – С. 76–80.