

УДК 621.785.5:620.178.1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ФЕРИТНОЇ НЕІРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ

Нестеров О.В., Лавренко А.С., Бялік Г.А., Журавель С.М.  
Запорізький національний технічний університет

Проведено дослідження можливості підвищення зносостійкості поверхні зразків з економнолегованих хромистих корозійностійкої та жаростійкої сталі феритного класу 03X8CЮ шляхом іонного азотування в атмосфері тліючого розряду. Азотування проводили на установці ІОН-20-І2. В якості насичувального газу використовували аміак. Дослідження зносостійкості проводили на спеціально розробленій установці, яка імітує умови експлуатації виробів. Встановлено, що застосування іонно-плазмового азотування дозволяє отримати на поверхнях дослідних зразків зносостійкі шари різного функціонального призначення:  $\gamma'$ -фаза,  $\epsilon$ -фаза та  $\gamma'+\epsilon$ -фази. Коефіцієнт підвищення зносостійкості поверхонь залежав від фазового складу та товщини насичених азотом шарів. Гранічні величини відносної зносостійкості знаходились в межах  $1,1 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3$ .

**Ключові слова:** жаростійка сталь, іонне азотування, дифузійні зони, зносостійкість, феритна сталь.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з необхідністю економії матеріальних ресурсів у багатьох галузях промисловості, зокрема теплової енергетики, є нагальною потреба в розробці та впровадженні новітніх ресурсозберігаючих технологій та нових матеріалів, які характеризуються достатнім рівнем експлуатаційних властивостей при їх меншій ресурсозатратності.

**Аналіз останніх досліджень.** В сегменті корозійностійких та жаростійких сталей актуальним залишається пошук альтернативних замінників хромонікелевих та високохромистих листових сталей. В першу чергу це розробка та впровадження у виробництво економнолегованих хромистих корозійностійких та жаростійких сталей феритного класу [1-3]. До основних переваг цих сталей відносяться: технологічність на усіх етапах металургійного переробу зливків до кінцеві види прокату, придатність матеріалу до сприйняття прогресивних методів інженерії стану матеріалів, універсальність для виготовлення виробів різноманітного призначення, мінімальна залежність від коливання ринкових цін на основні легувальні елементи, відносно менша ціна листового металопрокату.

**Постановка завдання.** З метою розширення сфери застосування таких сталей в промисловості нами було проведено дослідження можливості підвищення зносостійкості поверхні виробів шляхом іонного азотування в атмосфері тліючого розряду.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для експериментів було обрано дослідну економно леговану корозійностійку сталь феритного класу 03X8CЮ, розроблену в Запорізькому національному технічному університеті. Азотування зразків сталі проводили на установці ІОН-20-І2 фірми «Еффтот-ІОН» (Болгарія). В якості насичувального газу використовували аміак. Температуру азотування та тиск аміаку варіювали в межах від 500 до 580°C і від 300 до 550 Па відповідно. Тривалість витримки зразків при іонному азотуванні знаходилась в межах 2-6 годин.

В результаті проведених експериментів були встановлені режими іонного азотування, які забезпечують гарантоване отримання поверхневих дифузійних зон різних за властивостями:  $\gamma'$ -фаза (глибина зони 240-300 мкм, твердість  $HV_{0,05}$  800-900) (рис. 1а),  $\epsilon$ -фаза (глибина - 100-110 мкм,

твердість  $HV_{0,05}$  1000-1100) (рис. 1б) та  $\gamma'+\epsilon$ -фази (глибина-150-200 мкм, твердість  $HV_{0,05}$  900-950 (рис. 1в).

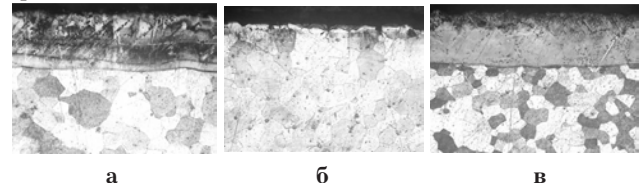


Рис. 1. Мікроструктура азотованих шарів після різних режимів іонного азотування

Отримані результати показали, що економнолегована жаростійка сталь з вмістом хрому, алюмінію та кремнію здатна до іонного азотування з отриманням азотованих шарів бажаного складу, що значно поширює можливості використання даного матеріалу. Так, іонне азотування на  $\epsilon$ -фазу дає змогу використовувати матеріал в умовах корозійно-агресивних середовищ при роботі в статичних умовах, азотування на  $\gamma'$ -фазу забезпечує підвищену зносостійкість, а наявність шарів з  $\gamma'+\epsilon$ -фазою забезпечує достатню корозійну стійкість в умовах абразивного зношування.

Для досліджень зносостійкості іонно-азотованих зразків використовували зразки у вихідному стані і після режимів азотування, що забезпечують утворення в поверхневих дифузійних зонах шарів  $\gamma'$ -фази та  $\epsilon$ -фази. Оскільки глибина дифузійних зон в деяких зразках не перевищувала 100 мкм, дослідження зносостійкості здійснювали за допомогою спеціально розробленої методики і відповідної установки в умовах, наближених до експлуатаційних.

Установка для випробувань на абразивний знос (рис. 2) складається з покритого сукном металевого диска 1, який приводиться в обертання від електродвигуна 2 настільного свердлильного верстата через шпindel за допомогою пасової передачі. Частота обертання може регулюватися в межах від 520 до 2620 хв<sup>-1</sup>.

Зразок 3 закріплений за допомогою пайки м'яким припоєм на вставці-тримачі 4, яку вставляють в направляючу втулку 5, закріплену в кронштейні 6. Через направляючу втулку 7, встановлену у верхній частині кронштейна 6, проходить шток 8, який передає навантаження від вантажу 9, встановленого на підставці 10, на зразок 3.

Абразив у вигляді водної емульсії окису хрому з резервуара 11 через голчастий вентиль 12 по трубіці 13 подається на поверхню диска 1. Відпрацьована емульсія віддаляється через гумовий шланг 14.

За допомогою голчастого вентиля можна регулювати інтенсивність подачі абразивної емульсії.

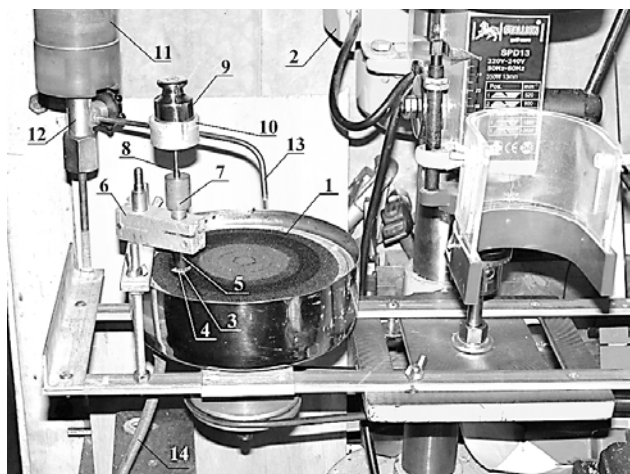


Рис. 2. Установа для випробувань на абразивний знос

Одночасно на установці можна закріпити до 6 кронштейнів, що дозволяє проводити випробування до 6 зразків практично в ідентичних умовах.

Перед початком випробувань на зразки за допомогою алмазної піраміди на приладі ПМТ-3 наносили відбитки і вимірювали їх діагоналі. Потім зразки встановлювали для випробувань і включали установку на певний проміжок часу, після чого зразки знімали і знову вимірювали діагоналі відбитків. Ступінь зменшення величини діагоналей свідчить про інтенсивність зносу зразків.

Підготовку зразків для випробувань на абразивний знос проводили таким чином.

Зразки квадратної форми розміром 10x10 мм вирізали за допомогою відрізного абразивного круга із заготовки дослідного металу.

Опорна поверхня вставки-тримача повинна бути паралельною поверхні зразка, тому пайку здійснювали за допомогою спеціального пристосування (рис. 3).

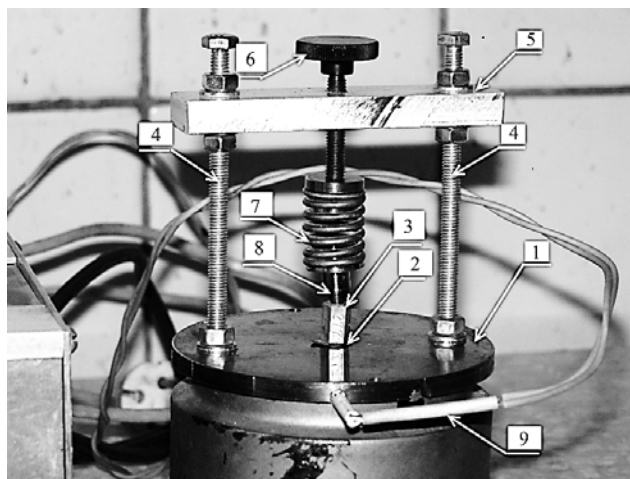


Рис. 3. Пристосування для пайки зразків до вставки-тримача

Пристосування складається з нагрівача 1, на якому встановлювали зразок 2 і латунну вставку-тримач 3. Між зразком і вставкою-тримачем поміщали плоску пластину з припоєм ПОС-60 з флюсом для паяння. На нагрівачі закріплені дві сталеві стійки 4 із поперечиною 5. Гвинт 6 через пружину 7 передає зусилля на наконечник 8, виготовлений з титану. Останній притискає вставку-тримач до зразка і щільно фіксує після розплавлення припою. Термопара 9 з'єднана з автоматичним терморегулятором, за допомогою якого регулювали температуру пайки.

Після охолодження нагрівача зразок з вставкою-тримачем знімали з пристосування.

Робочу поверхню зразка піддавали попередній поліровці на установці протягом 5 секунд, після чого на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 200 г наносили 5 відбитків згідно зі схемою, наведеною на рисунку 4.

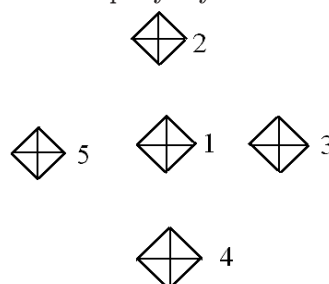


Рис. 4. Схема розташування відбитків алмазної піраміди на робочій поверхні зразка

Перед початком випробувань за допомогою окуляра-мікрометра вимірювали у двох напрямках діагоналі кожного відбитка. Потім зразок за допомогою тримача закріплювали на установці і випробували. Через кожні 40, 80, 160, 320, 640, 1200 і 1500 секунд випробування переривали і здійснювали вимір діагоналей відбитків. Випробування закінчували при повному зникненні відбитків. Під час випробувань розміри діагоналей поступово зменшувалися.

Для порівняння проводили також випробування зразків у вихідному стані (без попередньої іонно-плазмової обробки поверхні). При цьому випробування переривали через кожні 10, 20, 30 і 40 секунд для вимірювання діагоналей відбитків. Середнє значення діагоналей відбитків на кожному зразку оцінювали за результатами вимірювань 25-30 окремих відбитків.

Величину зносу оцінювали за значеннями зменшення глибини відбитків. З цією метою глибину відбитків розраховували відповідно до залежності

$$h = \frac{\sqrt{D^2/2}}{2 \operatorname{tg} 68^\circ}, \quad (1)$$

де  $h$  – глибина відбитка, мкм;  
 $D$  – діагональ відбитка, мкм.

Величину відносної зносостійкості ( $K_{\text{зн}}$ ) визначали відповідно до виразу

$$K_{\text{зн}} = \frac{\Delta h_{\text{етал}}}{\Delta h_{\text{досл. зразка}}} \quad (2)$$

де  $\Delta h_{\text{етал}}$  – величина зменшення глибини відбитків на зразку-еталоні (зразок у вихідному стані);

$\Delta h_{\text{досл. зразка}}$  – величина зменшення глибини відбитків на дослідних зразках

В таблиці 1 наведено дані про величину зменшення глибини відбитків ( $\Delta h$ ) під час випробувань на зносостійкість дослідних зразків сталі 03X8CЮ у вихідному стані і після різних режимів іонно-плазмового азотування, що забезпечують утворення в поверхнях зразків шарів  $\gamma$ -фази та  $\varepsilon$ -фази.

Таблиця 1

**Залежність величин зношування поверхонь зразків сталі 03X8CЮ від тривалості випробувань**

Тривалість випробувань, сек	Величина зношування, мкм		
	Зразки у вихідному стані	Поверхневий шар	
		$\gamma$ -фаза	$\varepsilon$ -фаза
1	1,18	-	-
2	3,35	-	-
4	5,98	-	-
8	12,16	-	-
16	23,92	-	-
40	47,21	0,07	0,05
80	95*	0,09	0,06
160	190*	0,19	0,09
320	380*	0,33	0,14
640	720*	0,65	0,28
1280	-	1,13	0,47
2560	-	1,81	0,85

Примітка. \* – значення отримані екстраполяцією

Величини відносної зносостійкості (коефіцієнт підвищення зносостійкості) дослідних зразків наведено у таблиці 2.

### Список літератури:

1. Дусягіна З. А. Використання іонно-плазмового азотування для підвищення корозійно-механічної тривкості деталей машин [Текст] / З. А. Дусягіна, О. В. Нестеров, Н. В. Щербовських // Восточно-европейский журнал передових технологий. – 2010. – № 6/5 (48). – С. 21-30.
2. Патент 60658 Україна, МПК С22С 38/18. Жаростійка сталь [Текст] / Нестеров О. В., Грешта В. Л., Климов О. В. та інші. Заявл. 01.12.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. – 3 с.
3. Патент 61987 Україна, МПК С22С 38/18. Жаростійка феритна сталь [Текст] / Грешта В. Л., Нестеров О. В., Климов О. В. та інші. Заявл. 27.12.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15. – 3 с.

**Нестеров А.В., Лавренко А.С., Бялик Г.А., Журавель С.Н.**

Запорожский национальный технический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ФЕРРИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

### Аннотация

Проведено дослідження можливості підвищення зносостійкості поверхні образців с економічно легированных хромистых коррозионностойкой и жаростойкой стали ферритного класса 03X8CЮ путем ионного азотирования в атмосфере тлеющего разряда. Азотирование проводили на установке ИОН-20-И2. В качестве насыщающего газа использовали аммиак. Исследование износостойкости проводили на специально разработанной установке, имитирующей условия эксплуатации изделий. Установлено, что применение ионно-плазменного азотирования позволяет получить на поверхностях опытных образцов износостойкие слои различного функционального назначения:  $\gamma'$ -фаза,  $\varepsilon$ -фаза и  $\gamma'+\varepsilon$ -фазы. Коэффициент повышения износостойкости поверхностей зависел от фазового состава и толщины насыщенных азотом слоев. Граничные показатели относительной износостойкости находились в пределах  $1,1 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3$ .

**Ключевые слова:** жаростойкая сталь, ионное азотирование, диффузные зоны, износостойкость, ферритная сталь.

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів підвищення зносостійкості зразків після азотування поверхонь**

Тривалість випробувань, сек	Коефіцієнт підвищення зносостійкості, $K_{zn}$	
	Поверхневий шар	
	$\gamma$ -фаза	$\varepsilon$ -фаза
1	2	3
40	674	944
80	1055*	1583*
160	1000*	2100*
320	1150*	2714*
640	1107*	2570

Примітка. \* – прогнозовані значення

**Висновки з даного дослідження.** Як видно з таблиці 2, застосування іонно-плазмового азотування дослідних зразків листової сталі 03X8CЮ дозволяє отримати на їх поверхнях зносостійкі шари. При цьому коефіцієнт підвищення зносостійкості поверхонь (в умовах проведення експериментів) залежить від фазового складу та товщини насичених азотом шарів. В цілому, граничні величини відносної зносостійкості знаходяться в межах  $1,1 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3$ , а тривалість зношення дифузійних шарів в більшості досліджених зразків перевищувала 2560 с. За такий же період часу товщина зношеного поверхневого шару на зразках у вихідному стані становила близько 2900 мкм, що в  $1,6 \cdot 10^3 - 3,4 \cdot 10^3$  разів більше, ніж на зразках після азотування.

**Nesterov A.V., Lavrenko A.S., Byalik G.A., Zhuravel S.M.**  
Zaporozhye National Technical University

## **STUDY OF THE INFLUENCE ON THE WEAR ION NITRIDING SURFACE LAYER FERRITIC STAINLESS STEEL**

### **Summary**

The investigation of the possibility of increase of samples surface wearability with economically alloyed corrosion- and heat-resistant chromium steel of 03X8Cr10 ferritic group by ion nitriding in the glow discharge atmosphere has been conducted. The nitriding was carried out on the ИОН-20-И2 installation. As the saturant gas ammonia was used. The wearability investigation was conducted on the specially developed installation imitating service conditions. It is established that ion-plasma nitriding allows to get on the test sample surfaces wearproof layers of different functions:  $\gamma'$ -phase,  $\epsilon$ -phase and  $\gamma'+\epsilon$ -phases. The increase factor of surfaces wearability depended on phase composition and thickness of layers saturated with nitrogen. Limit values of relative wearability were within  $1,1 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3$ .

**Keywords:** heat-resistant steel, ion nitriding, diffusion zones, wearability, ferritic steel.