

П. В. Матвіїшин, к. т. н.

УПЛИВ РЕЖИМІВ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ Х12 У КОРОЗІЙНО-АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Наведено результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів іонного азотування сталі Х12 на твердість і товщину азотованого шару та її зносостійкість у корозійно-абразивному середовищі. Одержано рівняння регресії, які описують вплив технологічних параметрів процесу азотування на властивості поверхневого шару.

Ключові слова: знос, азотування, екструдер, сталь.

Вступ. Азотування в тліючому розряді є ефективною технологією модифікації поверхні металів, яка дозволяє змінювати властивості поверхневих шарів (твердість, товщину, фазовий склад, градієнт зміни властивостей по товщині) у широких межах, що має велике значення для підвищення експлуатаційних характеристик конструкційних елементів [1, 2]. Перспективними є технологія та обладнання для хіміко-термічної обробки деталей машин й інструментів у тліючому розряді в безводневих середовищах (суміші азоту з аргоном) [3, 4]. Особливість цієї технології полягає в виключенні водневого окрихчення металів у процесі дифузійного насичення й підвищення пластичних характеристик поверхневих шарів за рахунок різного співвідношення фаз [5]. Властивості азотованого шару характеризуються 4-ма технологічними параметрами: температурою дифузійного насичення, тиском у вакуумній камері, складом насичувального середовища й часом азотування. Теоретичні та експериментальні дослідження [6] показали, що всі вказані вище технологічні параметри процесу азотування мають вплив на властивості азотованого шару. Для забезпечення максимальної зносостійкості пар тертя в абразивному середовищі необхідно, щоб поверхневі шари мали високу твердість і максимальну товщину. Крім того, як показують дослідження [7], на зносостійкість сталей в абразивному середовищі мають великий вплив метастабільні фази у структурі матеріалу.

Постановка завдання. Дослідження впливу технологічних параметрів іонного азотування сталі Х12 на твердість, товщину і зносостійкість азотованого шару в корозійно-абразивному середовищі.

Основний матеріал. Іонне азотування зразків із сталі Х12 проводили в безводневих середовищах на спеціальних установках [4] конструкції Хмельницького національного університету. Теоретичними та експериментальними дослідженнями процесу іонного азотування металів [3, 5, 6] показано, що для більшості конструкційних сталей висока твердість досягається за температур 560 – 580 °С, а максимальну товщину азотованого шару отримують за протяжності процесу дифузійного насичення 6 – 8 год., тому з метою скорочення кількості експериментів під час дослідження властивостей азотованого шару та процесу зношування азотованих зразків було використано двофакторний рототабельний план другого порядку [8]. У процесі досліджень змінювалися такі чинники: склад насичувального середовища в межах 29 – 71%, тиск у вакуумній камері в межах 55 – 225 Па. Тривалість азотування та температуру фіксували, вони становили 240 хв. та 570 °С відповідно.

Дослідження зносостійкості зразків проводили в середовищі розплаву склонаповненого полімеру ПС68-30 на спеціальній машині тертя [9], яка моделювала умови роботи екструдерів.

Математичну модель залежності досліджуваних величин від технологічних параметрів процесу азотування записують рівнянням регресії – поліномом другого порядку [8]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, \quad (1)$$

де $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти регресії; x_1, x_2 – змінні чинники, що враховують вплив

тиску у вакуумній камері і вмісту аргону в насичуючому середовищі $x_1 = \frac{P - 140}{60}$,

$$x_2 = \frac{Ar\% - 50}{15}.$$

У табл. 1 наведені результати експериментальних досліджень твердості й товщини азотованого шару сталі X12 залежно від режимів іонного азотування в безводневих середовищах. На основі результатів цих досліджень відповідно до двофакторного рототабельного плану проведення експериментів отримані емпіричні математичні залежності твердості поверхні (H_{100}) і товщини азотованого шару (h) від вмісту аргону в насичувальному середовищі та тиску у вакуумній камері досліджуваних сталей, які описують регресивні рівняння (2 і 3).

$$h(\text{мкм}) = 130.4 + 49.6 x_1 - 22.5 x_2 - 7.0 x_1 x_2 - 10.4 (x_1)^2 - 5.6 (x_2)^2, \quad (2)$$

$$H_{100}(\text{МПа}) = 9050 + 284.8 x_1 - 301.2 x_2 - 150 x_1 x_2 - 56.5 (x_1)^2 - 320.2 (x_2)^2. \quad (3)$$

Таблиця 1

Залежність мікротвердості та товщини азотованого шару від режимів іонного азотування різних сталей

Номер режиму	Технологічні параметри азотування		Сталь X12	
	P , Па	Ar, %	Мікротвердість H_{100} , МПа	Товщина азотованого шару, мкм
1	200	65	9700	134
2	200	35	9500	192
3	80	65	7800	50
4	80	35	7000	80
5	140	71	8600	88
6	140	29	8450	150
7	225	50	8350	178
8	55	50	7250	40
9	140	50	7800	130
10	140	50	7780	128
11	140	50	7900	133
12	140	50	7850	131
13	140	50	7910	127

На основі рівнянь регресії побудовані графіки залежності твердості азотованого шару (рис. 1) від технологічних параметрів процесу азотування в безводневих середовищах сталі X12.

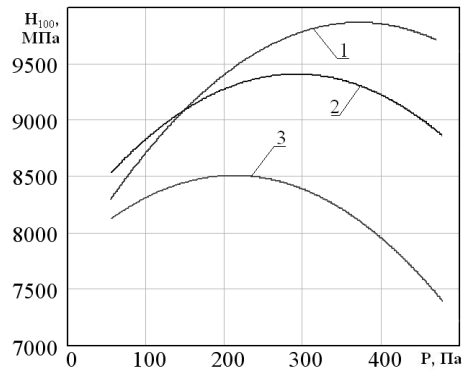


Рис. 1. Залежність твердості поверхні азотованого шару від технологічних параметрів процесу іонного азотування в безводневих середовищах сталі X12
1 – Ar 35%, 2 Ar 50%, – 3 – Ar 65%

Із рис. 1 видно, що технологічні параметри іонного азотування мають великий вплив на твердість поверхні азотованого шару. Залежності твердості поверхні від тиску у вакуумній камері й об'ємного вмісту аргону в насичувальному середовищі (суміш азоту з аргоном) мають екстремальний характер з яскраво вираженими максимумами. Для різних сталей існують оптимальні значення цих параметрів, за яких досягається максимальна мікротвердість. Для сталі X12 максимальна мікротвердість досягається за тиску 360 – 370 Па та вмісту аргону 38 – 42%.

Режими іонного азотування мають великий вплив на характер розподілу мікротвердості по товщині азотованого шару, що наглядно видно з рис. 2. Режим азотування 1 для сталі X12 забезпечує високу твердість поверхні завдяки утворенню нітридного шару та великий градієнт зміни мікротвердості по глибині азотованого шару. Під час азотування за режимом 4 сталі X12 мікротвердість їх поверхні значно менша через відсутність нітридної зони, при цьому градієнт зміни твердості по товщині азотованого шару найменший.

Отже, змінюючи режим азотування, ми можемо змінювати не тільки твердість поверхні, але й розподіл твердості та її градієнт по товщині азотованого шару.

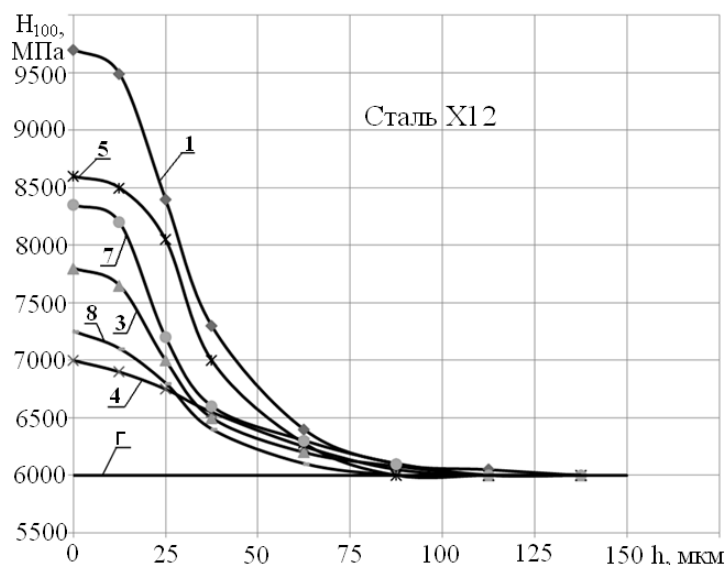


Рис. 2. Розподіл твердості по товщині азотованого шару сталі X12 після іонного азотування за режимами 1 – 8 (табл. 1). Г – сталь X12 після гартування від температури 1150°C

Використовуючи рівняння (1) і дані табл. 2, можна побудувати графіки залежності

товщини азотованого шару для досліджуваних сталей залежно від складу насичувального середовища й тиску у вакуумній камері, на основі яких знайдені оптимальні режими іонного азотування, що забезпечують максимальну товщину зміцненого шару. Оптимальний режим азотування досягався для сталі Х12 за тиску 310 – 320 Па та 12 – 17% аргону. Найбільша товщина азотованого шару за оптимального режиму для сталі Х12 має величину 225 мкм.

На основі результатів досліджень відповідно до двофакторного рототабельного плану отримано емпіричну математичну залежність (4) зношування сталі Х12 від технологічних параметрів іонного азотування:

$$U_{(мкм)} = 87,7 - 33,5 x_1 - 6,6 x_2 + 2,0 X_1 X_2 - 0,5 (X_1)^2 + 22,2 (X_2)^2. \quad (4)$$

На основі рівняння (4) побудовано графік (рис. 3) залежності зносу від технологічних параметрів процесу іонного азотування сталі.

Із графіків (рис. 3) видно, що мінімальний знос для сталі Х12 досягається за тиску у вакуумній камері 200 Па й об'ємного вмісту аргону 52 – 55 %.

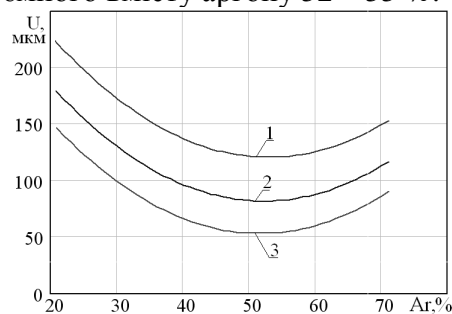


Рис. 3. Залежність зносу від технологічних параметрів процесу іонного азотування в безводневих середовищах сталі Х12 за тисків: 1 – 80 Па; 2 – 150 Па; 3 – 200 Па

Оптимальним режимом іонного азотування за критерієм максимальної зносостійкості для досліджуваної сталі Х12 є: температура $T=570^{\circ}\text{C}$, час дифузійного насичення $\tau=240$ хв., тиск $P=200$ Па, вміст аргону в насичувальній суміші $\text{Ar}\%= 53$ %.

Висновки. Отже, дослідження сталі Х12 після азотування показали, що іонне азотування в безводневих середовищах дозволяє змінювати властивості поверхневого шару в широких межах, які можна оптимізувати за експлуатаційними властивостями, які нас цікавлять, а також оптимізувати технологічні параметри процесу зміцнення за критерієм максимальної зносостійкості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Арзамасов Б. Н., Братухин А. Г., Елисеев Ю. С., Панайоти Т. А.]. – М. : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.
2. Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
3. Каплун В. Г. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивных элементов / В. Г. Каплун, П. В. Каплун // Современные технологии в машиностроении. – Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388 – 403.
4. Каплун В. Г. Енерго і ресурсозберігальна екологічно чиста технологія і обладнання для зміцнення деталей машин / В. Г. Каплун, І. М. Пастух // Машиностроение. – 2002. – № 2. – С. 49 – 51.
5. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионных слоев при ионном азотировании в безводородных средах // Физическая инженерия поверхности. – Харьков, 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141 – 146.
6. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков : НЕЦ ХФТИ, 2006. – 364 с
7. Попов В. С. Долговечность оборудования огнеупорного производства / В. С. Попов, Н. Н. Бриков, Н. С. Дмитриченко, П. Г. Приступа. – Изд-во «Металлургия», 1978. – 232 с.
8. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений / Н. Л. Леонтьев. – Лесная промышленность, 1996. – 236 с.
9. Матвійшин П. В. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі скло наповнених пластмас / П. В. Матвійшин, В. Г. Каплун // Проблеми трибології (Promblems of Tribology). – 2009. – № 4. – С. 80 – 85.

Матвійшин Петро Володимирович – к. т. н., доцент кафедри інженерної підготовки.

ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут".