

**Каплун В.Г.,
Паршенко К.А.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИ ТЕРТІ В ПАРІ З ПРОПИЛЕНОМ

В даний час в техніці досить часто мають місце застосування пар тертя "метал - полімер". Зокрема такі пари тертя застосовуються в обладнанні харчової і текстильної промисловості, в побутовій техніці, в водяних і газоперекачуючих насосах тощо.

В процесі тертя таких пар відбувається зношування не тільки полімерних матеріалів, але і металів. Дослідження багатьох авторів [1 - 5] показують, що в умовах сухого тертя і в агресивних середовищах відбувається корозійно-механічне зношування металів не тільки від впливу середовища, але і від агресивних елементів і речовин, що утворюються при деструкції полімерів в процесі тертя. З метою підвищення зносостійкості металів в парі тертя з полімерами їх поверхню зміцнюють, підвищуючи не тільки твердість, але й корозійну стійкість поверхні.

Одним з ефективних способів підвищення зносостійкості чорних металів в цьому випадку є іонне азотування [6 - 8], яке дозволяє не тільки збільшувати твердість поверхневих шарів, але значно підвищувати їх корозійну стійкість за рахунок утворення нітридів заліза та легуючих елементів.

Методика експериментальних досліджень

Нами проведені порівняльні експериментальні дослідження зносостійкості сталей 12ХН3А, У8 і ХВГ в парі з поліпропиленом в середовищі дистильованої води. Дослідження зношування проводилися на машині торцевого тертя ковзання при тиску 2 МПа та швидкості ковзання 0,8 м/с.

Таблиця 1

Твердість поверхні сталей після азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах за різними технологічними режимами

Режим азотування № п/п	Параметри технологічного режиму азотування				Твердість поверхні після азотування в МПа		
	температура $T, ^\circ\text{C}$	тиск $P, \text{Па}$	час азотування $\tau, \text{хв}$	вміст Ag в суміші % Ag	сталь 12ХН3А	сталь ХВГ	сталь У8
1	570	320	185	57	8980	7120	6520
2	510	320	185	57	9800	6940	4980
3	570	160	185	19	10950	6980	5520
4	510	160	185	19	10140	6890	4810
5	570	320	75	19	7850	6130	6610
6	510	320	75	19	6900	5930	4160
7	570	160	75	57	8780	6730	5830
8	510	160	75	57	10920	6690	4320
9	480	240	130	38	10630	4340	5450
10	600	240	130	38	8210	7770	5880
11	540	80	130	38	7750	5520	5470
12	540	400	130	38	7880	6690	5890
13	540	240	20	38	11100	7320	6310
14	540	240	240	38	9990	6780	5810
15	540	240	130	0	10200	6060	4950
16	540	240	130	76	11640	5760	4080
17	540	240	130	38	11630	7570	5700
18	540	240	130	38	11610	7490	5640
19	540	240	130	38	11670	7520	5650
20	540	240	139	38	11660	7590	5670

Експериментальні зразки сталей зміцнювалися методом азотування в тліючому розряді в безводневих насичуючих середовищах (сумішах азоту з аргоном в певних співвідношеннях) за різними техно-

логічними режимами, що дало можливість отримувати на поверхні різний фазовий склад (нітриди Fe_{2-3}N , Fe_4N в різних кількостях і співвідношеннях з α - фазою) та різні товщину і твердість азотованого шару. Властивості азотованого шару змінювались з допомогою 4 - х технологічних параметрів процесу азотування (температури T °С, тиску P Па, складу насичуючого середовища і часу дифузійного насичення τ хв), які змінювались в широких межах: температура T від 500 до 600 °С, тиск P від 80 до 400 Па, вміст Ag в суміші з азотом від 0 до 76 %, час дифузійного насичення τ від 20 до 240 хв (табл. 1). В процесі досліджень використовувався метод планування експериментів (4 - х факторний план Хартлі) [9].

Знос зразків вимірювався періодично після певного шляху тертя з допомогою спеціального пристрою. Похибка вимірювань складала 1 мкм.

Математичний опис зносу від технологічних параметрів процесу азотування здійснювалося регресивною моделлю у вигляді квадратичного полінома [9]:

$$\varphi(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

де $\varphi(x)$ – функція відзову (вихідна змінна – знос U);

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – коефіцієнти рівняння регресії;

x_i, x_j – незалежні змінні величини (параметри технологічного процесу).

Результати експериментальних досліджень

На рис. 1 наведені результати досліджень зносу зразків із сталей 12ХН3А, У8 і ХВГ до і після азотування в тліючому розряді в безводневих насичуючих середовищах за різними технологічними режимами в умовах проведення експериментів.

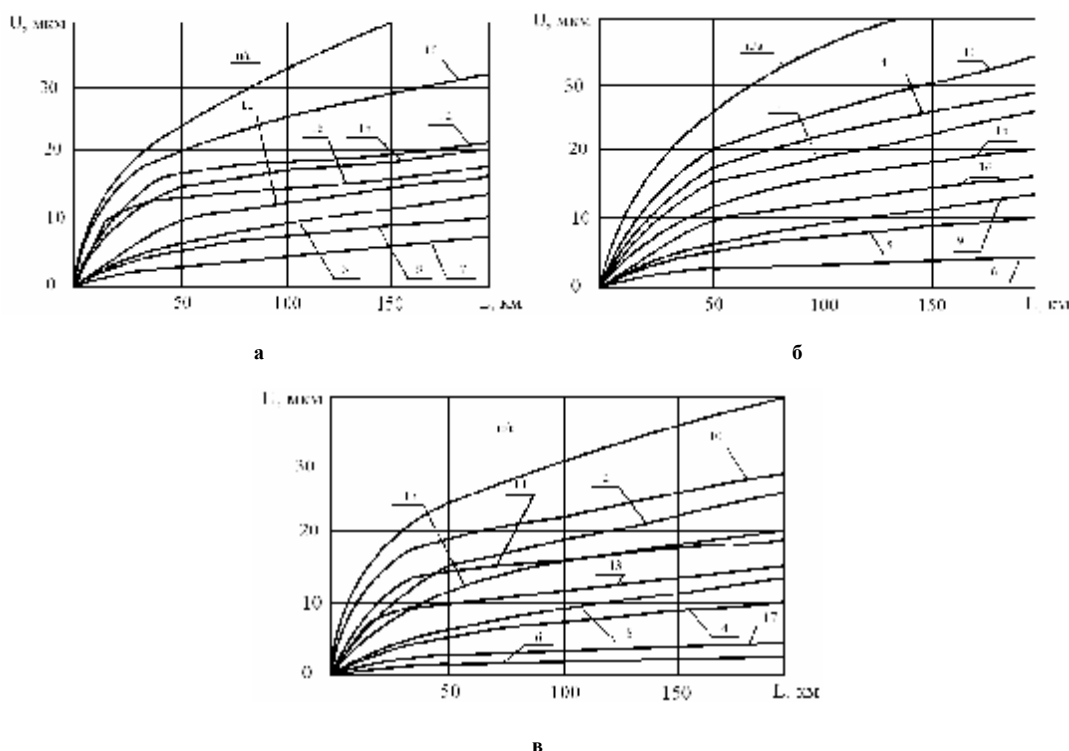


Рис. 1 – Кінетика зношування зразків із різних сталей після азотування в тліючому розряді за різними режимами (табл.1): а – сталь ХВГ; б – сталь 12ХН3А; в – сталь У8

Результати експериментальних досліджень показали, що застосування азотування в тліючому розряді для зміцнення поверхні сталей в умовах тертя в парі з поліпропиленом дозволяє на порядок підвищити їх зносостійкість в порівнянні з неазотованою сталлю. При цьому зносостійкість азотованої сталі залежить від властивостей азотованого шару, які формуються технологічним режимом азотування і змінюються в широких межах. Так, наприклад, для сталі 12ХН3А (рис. 1, б) знос зразків після азотування за режимом 6 після шляху тертя 200 км в 6,3 раз, а для сталі У8 (рис. 1, в) в 8,5 раз менший ніж для зраз-

ків, що азотувалися за режимом 10. Подібна картина спостерігається і для сталі ХВГ. Слід зазначити, що самий великий вплив на величину зносу зразків мали режими азотування в період припрацювання. В цей період експлуатації відбувається утворення і формування вторинних структур, які екранують поверхні тертя від схоплення, зменшуючи адгезійну складову сили тертя. Вторинні структури представляють собою нову структуру, яка спонтанно утворюється при терті в результаті взаємодії поверхневих шарів твердих тіл, мастильних матеріалів та газового середовища. Вторинним структурам характерні антифрикційні властивості та підвищені характеристики міцності, які мінімізують знос. Тонкі плівки вторинних структур відрізняються від вихідних матеріалів складом, структурою, властивостями. Формування вторинних структур – це термодинамічний акт пасивації активованих тертям поверхневих шарів твердих тіл.

Вторинні структури, які утворюються в процесі тертя, захищають вихідний матеріал від механічної і фізико-хімічної деструкції. Зовнішні механічні чинники, що діють на поверхні тертя, призводять до руйнування екрануючої структури, але в той же час ці чинники і спряжені процеси переносу речовини із середовища забезпечують її регенерацію. В діапазоні нормального тертя процеси утворення і руйнування вторинних структур знаходяться в динамічній рівновазі і саморегулюються.

На швидкість утворення і формування вторинних структур, їх структуру та хімічний склад великий вплив має фазовий склад азотованих шарів, що утворюються при азотуванні. При різних режимах азотування фазовий склад поверхні різний. Після завершення періоду припрацювання, коли сформувалися вторинні структури на поверхнях тертя, настає період нормального зношування, в процесі якого знос зразків, що азотувалися за різними режимами, зменшується і його величина не так різко відрізняється, як в період припрацювання (рис. 1).

На основі проведених експериментів одержані емпіричні залежності зносу азотованих шарів досліджуваних сталей 12ХНЗА (2), У8 (3) і ХВГ (4) від технологічних параметрів процесу азотування, які наведені нижче:

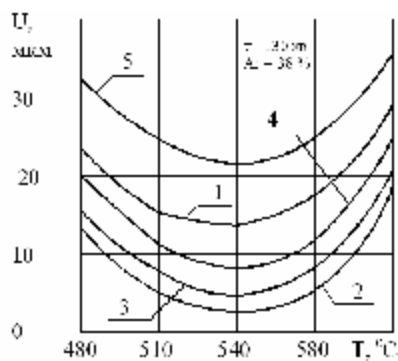
$$U = 6,62 + 5,66 X_1 + 1,0 X_2 - 0,5 X_3 - 0,5 X_4 + 14,89 X_1^2 + 6,89 X_2^2 + 5,39 X_3^2 + 7,39 X_4^2 + 7,85 X_1 X_2 - 1,65 X_1 X_3 + 1,15 X_1 X_4 - 0,35 X_2 X_3 + 18,85 X_2 X_4 - 5,65 X_3 X_4; \quad (2)$$

$$U = 5,37 + 7,06 X_1 + 2,0 X_2 - 0,5 X_3 - 1,0 X_4 + 8,62 X_1^2 + 7,87 X_2^2 + 6,87 X_3^2 + 7,87 X_4^2 + 2,75 X_1 X_2 + 2,25 X_1 X_3 - 3,75 X_1 X_4 - 5,25 X_2 X_3 + 6,25 X_2 X_4 - 7,25 X_3 X_4; \quad (3)$$

$$U = 3,62 + 2,44 X_1 + 4,25 X_2 + 1,0 X_3 - 0,5 X_4 + 12,94 X_1^2 + 13,69 X_2^2 + 8,94 X_3^2 + 11,44 X_4^2 - 0,75 X_1 X_2 - 3,75 X_1 X_3 - 13,25 X_1 X_4 + 11,75 X_2 X_3 + 16,25 X_2 X_4 - 5,25 X_3 X_4; \quad (4)$$

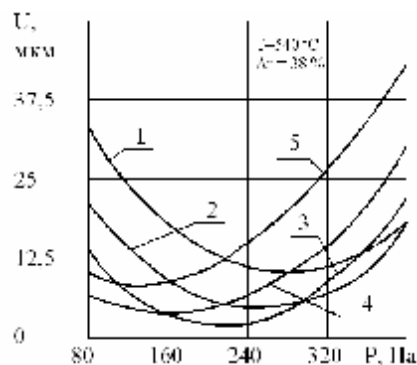
$$\text{де } X_1 = \frac{T - 540}{60}; X_2 = \frac{P - 240}{160}; X_3 = \frac{\tau - 130}{110}; X_4 = \frac{\%Ar - 38}{38}.$$

З допомогою рівнянь (2), (3), (4) можна одержати графічні залежності зносу від технологічних параметрів процесу азотування для кожного з режимів зміцнення поверхні для кожної з досліджуваних сталей, на основі яких знаходимо оптимальні режими азотування за критерієм мінімального зносу. Приклад таких залежностей для сталі У8 наведені на рис. 2.



р: 1 – 80 Па; 2 – 160 Па; 3 – 240 Па;
4 – 320 Па; 5 – 400 Па

а



t: 1 – 20 хв; 2 – 75 хв; 3 – 130 хв;
4 – 185 хв; 5 – 240 хв

б

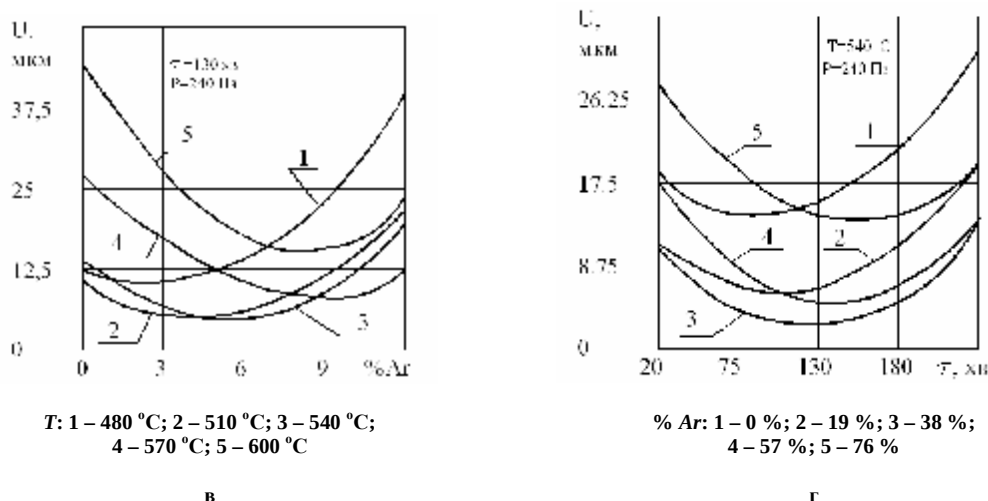


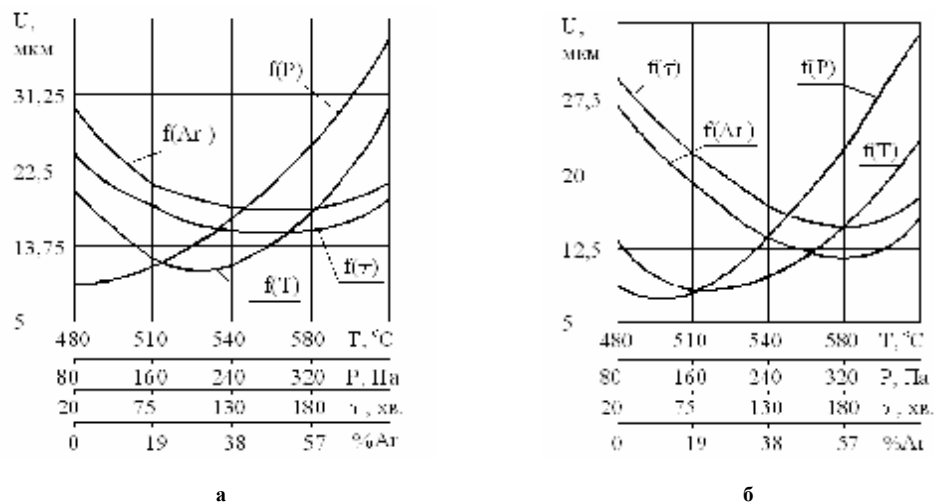
Рис. 2 – Вплив параметрів технологічного процесу азотування на зносостійкість сталі У8

Для забезпечення максимальної зносостійкості в конкретних умовах експлуатації необхідні оптимальні властивості азотованого шару для кожної з марок сталей. Для умов тертя, в яких проводилися експерименти, на основі рівнянь (2), (3), (4) одержані оптимальні режими азотування досліджуваних сталей, що забезпечують їх максимальну зносостійкість. Такими режимами є:

- для сталі 12ХН3А: температура азотування – 525 °C, тиск – 80 Па, тривалість насичення – 180 хв, вміст аргону – від 38 % до 57 %;
- для сталі ХВГ: температура азотування від 510 °C до 520 °C, тиск – 100 Па, тривалість насичення – 180 хв, вміст аргону – 57 %;
- для сталі У8: температура азотування – 550 °C, тиск – 80 Па, тривалість насичення – 150 хв, вміст аргону 76 %.

Твердість поверхні сталей після азотування в тліючому розряді за оптимальними режимами мала наступні значення: сталь 12ХН3А – 7820 МПа; сталь ХВГ – 6940 МПа; сталь У8 – 6910 МПа. Порівнюючи ці значення твердості зі значеннями твердості поверхні азотованих шарів (табл. 1), ми бачимо, що не завжди максимальна твердість поверхні тертя забезпечує її максимальну зносостійкість і, зокрема, в умовах проведення експериментів – корозійному середовищі. Для таких умов експлуатації необхідне оптимальне співвідношення між твердістю, пластичністю і фазовим складом азотованого шару, що досягається при оптимальному режимі азотування.

На рис. 3 наведені залежності зносу сталей 12ХН3А, ХВГ, і У8 від технологічних параметрів дифузійного насичення при оптимальному режимі азотування, з якого видно вплив кожного з параметрів на величину зносу та їх оптимальні значення. Зміна умов експлуатації приведе до зміни величини зносу і для його мінімізації необхідний буде інший оптимальний режим азотування.



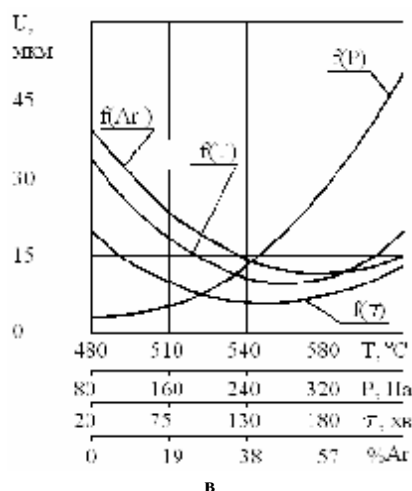


Рис. 3 – Залежність зносу сталей 12ХН3А (а), ХВГ (б), У8 (в) від технологічних параметрів азотування в тліючому розряді в безводневому середовищі

Висновки

Застосування технології азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах для зміцнення поверхні сталей в парі тертя з полімером в середовищі дистильованої води дозволяє підвищити зносостійкість сталей більш ніж на порядок в порівнянні з неазотованими сталями.

Технологічні параметри процесу азотування дозволяють змінювати властивості азотованого шару та його зносостійкість в широких межах, що дає можливість їх оптимізації за критерієм максимальної зносостійкості з врахуванням реальних умов експлуатації. На основі експериментальних досліджень знайдені оптимальні режими азотування в тліючому розряді сталей 12ХН3А, ХВГ, У8.

Оптимальні режими азотування сталей, що забезпечують їх максимальну зносостійкість в реальних умовах експлуатації, різні для різних сталей

Література

1. Поверхностная прочность металлов при трении / Под общ. Редакции Б.И. Костецкого. – К.: Техника, 1976, – 292 с.
2. Силян В.А. Динамика процессов переработки пластмасс в червячных машинах / В.А. Силян. – М.: Машиностроение, 1972. – 150 с.
3. Гороховський Г.А. Поверхностное диспергирование динамически контактирующих полимеров и металлов. – К.: Наукова думка, 1972 – 238 с.
4. Meridies R. Plastverarbeiter / R. Meridies, F.Bassner // 1970. – Bd. 21. - №7. – S. 617-623.
5. Гладченко А.Н. Износостойкость оборудования для переработки полимерных материалов / А.Н. Гладченко, В.Г. Зверлин, С.Д. Петренко, И.В. Шевеля. – М.: Машиностроение, 1992. – 256 с.
6. Арзамасов Б.Н. Химико - термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. – М.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
7. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган // М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
8. Каплун В.Г. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивных элементов / В.Г. Каплун, П.В. Каплун // В кн. «Современные технологии в машиностроении». Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388-403.
9. Красовский Г. И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф.Филаретов / Минск: Изд. БГУ, 1982. – 302с.

Надійшла 02.11.2012