

**Каплун В.Г.,
Матвійшин П.В.,
Машовець Н.С.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ
АЗОТУВАННЯ СТАЛІ 38ХМЮА
В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ ЗА ПАРАМЕТРОМ
ЗНОСОСТІЙКОСТІ В РОЗПЛАВІ
СКЛОНАПОВНЕНОЇ ПЛАСТМАСИ**

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) в широких межах [1, 2], що має велике значення для підвищення експлуатаційних характеристик конструкційних елементів. Оптимізація властивостей поверхневих шарів з врахуванням умов експлуатації забезпечує максимальну зносостійкість пар тертя [3, 4]. Властивості азотованого шару добре управляються 4-ма технологічними параметрами: температурою дифузійного насичення, тиском у вакуумній камері, складом насичуючого середовища і часом азотування. Теоретичними і експериментальними дослідженнями [3,4] показано, що найбільший вплив на фазовий склад азотованих шарів має температура і тиск в процесі дифузійного насичення. Тому з метою скорочення кількості експериментів при дослідженні процесу зношування азотованих зразків було використано 2-х факторний рототабельний план другого порядку (план Бокса) [5]. В процесі досліджень змінювалися такі фактори: температура в межах 500÷620⁰С, тиск у вакуумній камері в межах – 125 ÷ 355 Па. Тривалість азотування та вміст аргону у газовому середовищі фіксувалися, і становили відповідно 480 хв та 25 об. % Аг. Ці параметри вибрані з умови забезпечення максимальної товщини і твердості азотованого шару для сталі 38 ХМЮА на основі попередніх досліджень, якими було встановлено, що товщина азотованого шару залежно від часу азотування змінюється за параболічною залежністю і після 8 год дифузійного насичення практично не змінюються. Залежність поверхні азотованого шару сталі 38 ХМЮА від вмісту аргону в насичуючому середовищі має екстремальний характер з максимумом при 25 об. % Аг.

Для отримання моделі використовувався алгебраїчний поліном другого порядку [5]:

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

де $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти регресії;

x_1, x_2 – змінні фактори.

Для запису умов експерименту і обробки експериментальних даних рівні факторів кодувались.

Прийняті такі змінні фактори:

- температура азотування – X_1 ;

- тиск в вакуумній камері – X_2 .

При кодуванні значень X_1 і X_2 верхній рівень позначають +1, нижній – 1, а нульовий 0. Кодування фактора X_i визначається виразом:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\epsilon_i}, \quad (2)$$

де i – номер фактора;

X_i – натуральне значення i -го фактора;

X_{0i} – натуральне значення нульового рівня i -го фактора;

ϵ_i – інтервал зміни i -го фактора.

Експериментальні дослідження проводились на рівнях та з інтервалами, які наведені в табл. 1.

Матриця плану для композиційного рототабельного планування другого порядку наведена в табл. 2. Дослідження зношування азотованих зразків проводились на сталі 38ХМЮА в середовищі розплаву склонаповненого поліаміду ПС68-30 з вмістом 30 % скловолокна.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Позначення	Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання
		- 1,414	- 1	0	+ 1	+ 1,414	
X1	Температура, °С	500	520	560	600	620	40
X2	Тиск, Па	125	160	240	320	355	80

Робоча матриця та результати експериментальних досліджень

Номер режими- МУ	Робоча матриця		Мікро- твердість H_{100} , МПа	Товщина азотованого шару		Знос U , мкм після шляху тертя $4,6 \cdot 10^5$ м	Інтенсивність зношування $I \cdot 10^{-9}$ після шляху тертя $4,6 \cdot 10^5$ м	Знос U , мкм нітридної зони після шляху тертя $0,1 \cdot 10^5$ м
	T , °C	P , Па		нітридної зони h_N , мкм	дифузійної зони h_D , мкм			
1	600	320	8940	3,0	410	193,2	0,42	12,2
2	520	320	9350	6,0	290	156,4	0,34	11,5
3	600	160	8600	6,2	430	230,0	0,50	13,4
4	520	160	9520	7,0	300	147,2	0,32	11,0
5	500	240	9800	10,0	260	184,0	0,46	9,0
6	620	240	8030	1,0	450	197,8	0,45	15,0
7	560	125	9100	4,0	360	174,8	0,38	12,0
8	560	355	9200	5,0	350	170,2	0,37	11,3
9	560	240	9300	6,0	360	165,6	0,36	11,5
10	560	240	9350	5,5	365	164,5	0,37	11,1
11	560	240	9310	4,5	360	165,0	0,36	11,0
12	560	240	9290	5,0	355	166,0	0,35	11,2
13	560	240	9300	3,5	350	164,8	0,37	11,0

Дослідження зносостійкості зразків проводилися на спеціальній машині тертя [6], яка моделювала умови роботи пари тертя «шнек-циліндр» термопластавтоматів. Знос зразків визначався через кожні 0,5 млн обертів робочого валу (шлях тертя $0,58 \cdot 10^5$ м) на універсальному інструментальному мікроскопі УИМ-10 з точністю до 0,5 мкм. Вимірювання проводились в одних і тих самих точках на двох взаємноперпендикулярних діаметрах. Перед вимірюванням зразки очищалися від пластмаси. Кожний результат визначався як середнє арифметичне значень з 10 замірів. Кожний експеримент повторювався 3 рази і знос визначався як середнє арифметичне з результатів трьох дослідів.

На основі математичної обробки результатів експериментів (табл. 2) одержана залежність інтенсивності зношування від температури і тиску процесу азотування після $4,6 \cdot 10^5$ м шляху тертя, при часі дифузійного насичення 8 год в середовищі 75 об.% N_2 +25об.% Ag яка описується рівнянням:

$$I_H = 0,3461 + 0,0307x_1 - 0,0093x_2 - 0,025x_1x_2 + 0,0491(x_1)^2 + 0,0091(x_2)^2. \quad (3)$$

На рис. 1 наведені графіки залежності інтенсивності зношування сталі 38ХМЮА від температури азотування при різних тисках в насичуючих середовищах, які одержані на основі рівняння (3). Використовуючи наведені графіки, знайдені оптимальні значення температури ($T = 545$ °C) і тиску ($P = 240$ Па) при яких досягається мінімальна інтенсивність зношування.

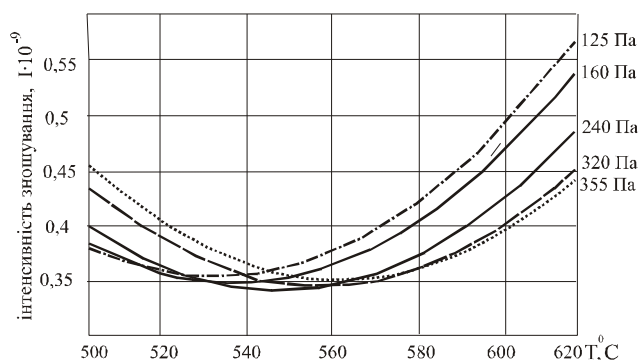


Рис. 1 – Залежність інтенсивності зношування сталі 38ХМЮА від температури дифузійного насичення при різних значеннях тиску в вакуумній камері

Кінетика зношування зразків азотованих за різними режимами залежно від шляху тертя наведена в табл. 3 і на рис. 2.

Таблиця 3

Характеристики зношування сталі 38 ХМЮА після азотування за різними режимами

Номер режиму	Мікро-твердість H_{100} , МПа	Товщина дифузійної зони h_d , мкм	Знос U , мкм при $L \cdot 10^5$, м				Інтенсивність зносу $I \cdot 10^{-9}$ при $L \cdot 10^5$, м				Гرادієнт твердості по товщині МПа/мкм
			1,16	2,32	3,5	4,6	1,16	2,32	3,5	4,6	
1	8940	410	44,6	85,8	133,7	193,2	0,35	0,37	0,382	0,42	21,9
2	9350	290	30,2	65,4	108,5	156,4	0,26	0,28	0,310	0,34	32,2
3	8600	430	42,9	88,0	157,5	230,0	0,37	0,41	0,450	0,50	20,0
4	9520	300	25,3	55,1	95,2	147,2	0,22	0,24	0,270	0,32	31,7
5	9800	260	29,0	62,6	122,8	184,0	0,25	0,31	0,351	0,46	38,1
6	8030	450	35,7	71,9	126,8	197,8	0,31	0,36	0,392	0,45	17,9
7	9100	360	39,4	83,5	127,7	174,8	0,34	0,35	0,365	0,38	25,3
8	9200	350	38,3	81,2	126,0	170,2	0,33	0,34	0,360	0,37	26,3
9	9300	360	37,1	78,9	119,0	165,6	0,32	0,33	0,340	0,36	25,8
Оптимальний	9500	320	24,4	53,4	91,0	142,6	0,21	0,23	0,26	0,31	28,3

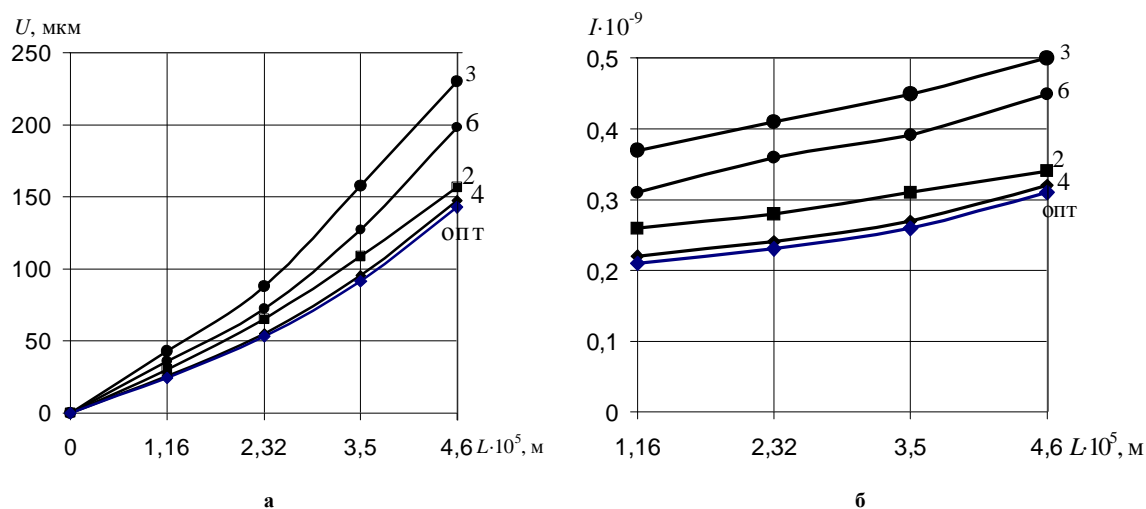


Рис. 2 – Залежність зносу (а) та інтенсивності зношування (б) від шляху тертя при різних режимах азотування (табл. 2): опт. – оптимальний режим азотування

З табл. 3 і рис. 2 видно, що величина зносу та інтенсивності зношування змінюються в широкому діапазоні залежно від режиму азотування і зростають зі збільшенням шляху тертя. На величину зношування впливають не лише твердість поверхні азотованого шару, але його товщина та градієнт твердості по глибині (рис. 3).

Дослідженнями [7, 8] встановлено, що в абразивному середовищі інтенсивність зношування обернено пропорційна твердості поверхні. Дана закономірність підтверджується характером зношування нітридної зони азотованого шару (рис. 4), твердість якої залежить від її фазового складу і співвідношення фаз. Для дифузійної зони ця закономірність порушується в зв'язку зі зміною градієнта її твердості по товщині. Максимальна зносостійкість азотованого шару в цілому досягається при високій твердості поверхневого шару і меншому градієнті зміни твердості по товщині. Тому, після шляху тертя $4,6 \cdot 10^5$ м мінімальну інтенсивність зношування має азотований шар з твердістю поверхні 9 480 МПа (оптимальний режим азотування) і меншим градієнтом твердості (28,3 МПа/мкм), в той час як азотований шар з максимальною твердістю поверхні 9 800 МПа (режим №5) і значно більшим (1,4 рази) градієнтом твердості по товщині (38,1 МПа/мкм) має більшу інтенсивність зношування.

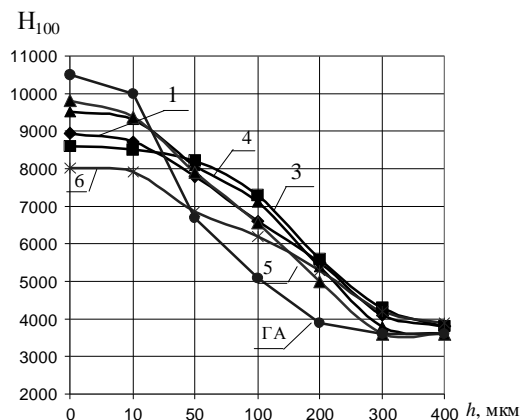


Рис. 3 – Розподіл твердості по товщині азотованого шару в залежності від режимів азотування (табл. 2):
ГА – газове азотування в середовищі аміаку при температурі 540 °С на протязі 45 годин

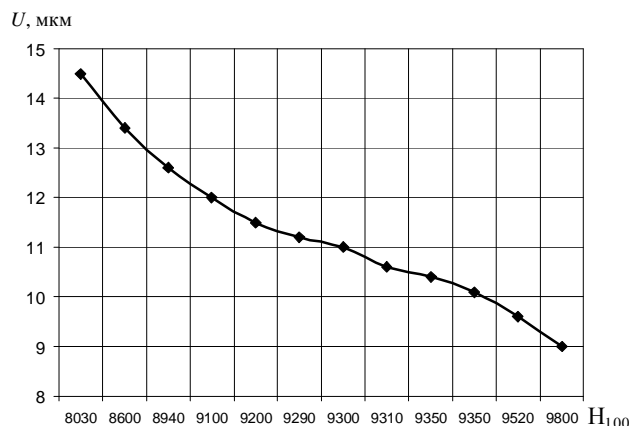


Рис. 4 – Залежність зносу нітридної зони від твердості поверхневого шару

Таким чином, на основі проведених досліджень встановлено, що інтенсивність зношування азотованих шарів залежить від твердості, товщини та градієнта зміни властивостей по товщині азотованого шару. Для умов зношування сталі 38ХМЮА в середовищі розплаву склонаповненої пластмаси ПС68-30 існує оптимальний режим азотування (температура 545 °С, тиск в вакуумній камері 240 Па, тривалість азотування 8 годин, середовище дифузійного насичення 75 об. % N₂ + 25 об. % Ar), який забезпечує мінімальну інтенсивність зношування її поверхні.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю., 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 // В кн. «Современные технологии в машиностроении». Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388-403.
4. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков: НЕЦ ХФТИ. – 2006. – 364 с.
5. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
6. Матвіїшин П.В. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі скло наповнених пластмас / П.В. Матвіїшин, В.Г. Каплун // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – № 4. – 2009. – С. 80-85.
7. Хрущев М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. – М.: Наука. – 1970. – 252 с.
8. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 332 с.

Надійшла 30.06.2011