

V.V. Lyukhovets, Yu.M. Bilyk // Problems of Tribology. – Khmelnytskyi: KHNU, 2021. – V. 26 - №3/101. – P.31-41.

4. Stechychyn M. WEAR RESISTANCE OF NITROGENED STRUKTURAL STEEL WITH LIMITAND DRY FRICTION / M. Stechyshyn, V Oleksandrenko, M. Lukyanyuk // Actual problems of modern science. Monograf: Bydgoszcz, Poland – 2021. – P. 733-740.

**Стечишина Н. М., Олександренко Є. Г., Стечишин М. С., Лук'янюк М. В.
(ХНУ, м. Хмельницький)**

**КАРБООАЗОТУВАННЯ СТАЛЕЙ 12ХН3А, ХВГ і 40Х В ТЛЮЧОМУ
РОЗРЯДІ**

E-mail: oleksandrenkoyevhen@gmail.com

Технологічні параметри процесу карбоазотування в тліючому розряді значно впливають на фізико–механічні характеристики, структуру, фазовий склад і зносостійкість карбонітрідного шару, тому вивчення цього впливу є важливим завданням.

Дослідження проводилися на сталях: 12ХН3А, 40Х, ХВГ. Завданням досліджень було визначення залежності характеристик карбоазотованого шару (глибини, твердості, структури, фазового і хімічного складу) від основних параметрів технологічного процесу (тиску, складу насичувального середовища, температури і тривалості процесу). У якості робочих газів застосовувалися суміші азоту і аргону (75 % N₂ + 25 % Ar) і пропану C₃H₈, температура насичення змінювалася від 480 °С до 600 °С, тиск газової суміші в процесі дифузійного насичення – від 80 Па до 400 Па, тривалість процесу – від 20 хв до 240 хв. Технологічні параметри насичення вибиралися виходячи із результатів попередньо проведених досліджень [1].

В процесі дослідження використовувалися методи металографії, і хімічного аналізів, в результаті застосування яких визначалися наступні характеристики карбоазотованого шару: структура і товщина із застосуванням мікроскопів

ММР–2Р; мікротвердість із застосуванням мікротвердоміра ПМТ–3; фазового складу із застосуванням рентгенівського приладу ДРОН–3М.

З метою раціонального проведення дослідів і отримання достовірної інформації застосовувались математичні методи планування експериментів (плани першого і другого порядку) і статистичні методи обробки результатів експериментів [2].

Застосування методу карбоазотування в тліючому розряді до зміцнення деталей машин ставить завдання знаходження таких технологічних режимів його проведення, при яких досягаються максимальні результати в потрібних вихідних параметрах. Виходячи з того, що сам процес карбоазотування в тліючому розряді дозволяє широку зміну властивостей отримуваних покриттів через прості, легко керовані технологічні параметри, отримується можливість їх оптимізації за заданими контрольними характеристиками. При цьому вихідними параметрами процесу поверхневого зміцнення можуть бути як експлуатаційні (зносостійкість, міцність, тріщиностійкість, втомна витривалість), так і внутрішні фізико–механічні властивості (товщина карбідного шару, фазовий склад дифузійного шару, його структура, твердість тощо).

З метою визначення оптимальної кількості пропану в насичуючому середовищі та тиску в розрядній камері проведено ряд технологічних режимів зміцнення сталей 12ХН3А, ХВГ та 40Х. Технологічні параметри процесу утворення карбідного шару в тліючому розряді: температура процесу $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість зміцнення $\tau = 240\text{ хв}$, тиск в камері змінювався від 67 Па до 333 Па, вміст пропану в насичуючому середовищі в об'ємній частці від 3 % до 15 % (надалі в тексті буде використано скорочений запис складу газової суміші, наприклад, 15 % C_3H_8). Газова суміш – аргано-пропанова ($\text{Ar} + \text{C}_3\text{H}_8$).

У процесі досліджень зразків із сталей 12ХН3А, ХВГ та 40Х отримані залежності поверхневої мікротвердості карбідного шару від технологічних параметрів процесу зміцнення – тиску в розрядній камері та вмісту цемен-туючого газу. Дані по мікротвердості зміцнених сталей наведені в табл. 1. Залежності мікротвердості від параметрів зміцнення показані на рис. 1 і 2.

Таблиця 1 – Результати досліджень мікротвердості сталей 12ХН3А, ХВГ і 40Х, зміцнених в тліючому розряді у вуглецевому середовищі

Номер режиму	Технологічні параметри режиму				Мікротвердість Н ₁₀₀ , МПа					
	р, Па (мм рт. ст.)	%, С ₃ Н ₈	I, А	U, В	12ХН3А		ХВГ		40Х	
					до зміцнення	після зміцнення	до зміцнення	після зміцнення	до зміцнення	після зміцнення
1	333 (2,5)	9,0	6,8	315	2420	6500	3000	4350	2970	4700
2	266 (2,0)	9,0	6,7	380	2700	7300	3150	4800	3000	5500
3	200 (1,5)	9,0	5,6	410	2850	6800	2550	5300	2860	4750
4	133 (1,0)	9,0	4,6	550	2450	5650	2800	4500	2600	3800
5	67 (0,5)	9,0	3,6	970	2650	5000	3000	3750	2800	3600
6	266 (2,0)	15,0	6,6	360	2600	5500	3050	3900	2930	4100
7	266 (2,0)	12,0	6,5	400	2800	6700	3080	4550	2700	5150
8	266 (2,0)	9,0	6,7	380	2750	7300	3050	4800	2950	5500
9	266 (2,0)	6,0	6,1	450	2800	6250	3180	4280	3050	5000
10	266 (2,0)	3,0	6,3	420	2700	5500	3000	3500	2950	3600

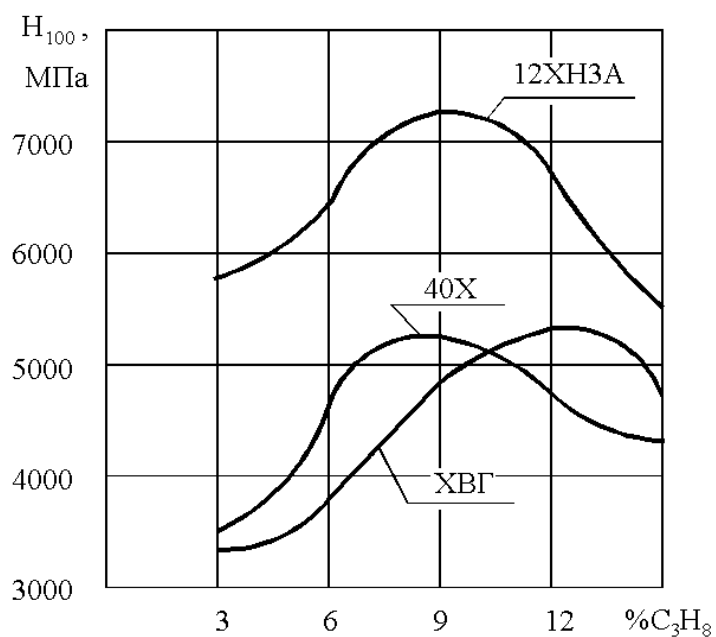


Рис. 1. Залежність мікротвердості карбідного шару від вмісту пропану в насичувальному середовищі

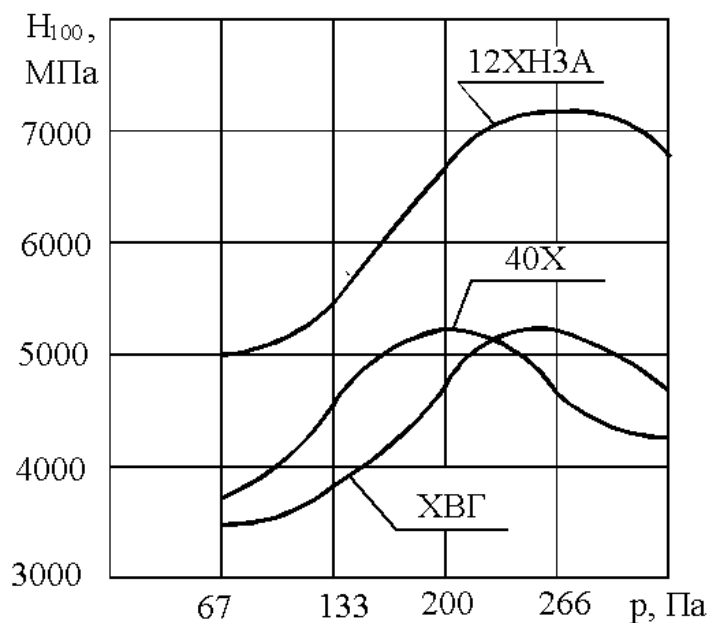


Рис. 2. Залежність мікротвердості карбідного шару від тиску в розрядній камері

Попередні дослідження впливу вмісту пропану в середовищі і тиску в розрядній камері показали, що для сталі XBG є оптимальне значення вмісту

пропану в насичувальному середовищі (біля 12 %) та тиску в розрядній камері (від 230 Па до 260 Па), при яких поверхнева мікротвердість буде максимальною. При збільшенні вмісту пропану в насичувальному середовищі поверхня зразків покривається сажею, що ускладнює проникнення насичувальних газів в поверхню металу і утворенню зміцненого шару. Для 12ХН3А: вміст пропану – 9 %, тиск – 230...280 Па, а для сталі 40Х вміст пропану – 7...9 %, тиск – 200 Па.

Таким чином знайдені оптимальні значення вмісту пропану в насичувальному середовищі та його тиску при заданій температурі 580 °С для досягнення максимальної поверхневої мікротвердості.

Література

1. Stechyshyn M.S. Physicochemical properties of carbonitrided 40kh steel / M. S. Stechyshyn, M.E. Skyba, N. M. Stechyshyna, O. O. Solariov, O. M. Kalnaguz // Materials Science, Vol. 56, No.6, November-December, 2021.-PP.837-842. (DOI 10.1007/s11003-021-00502-9).

2. Скиба М.Є. Планування експериментальних досліджень процесу карбоазотування в тліючому розряді / М.Є. Скиба, М.С. Стечишин, М.М. Лук'янюк, Н.М. Стечишина, // Проблеми тертя та зношування – К.: НАУ, 2020, №1(86). – С.78-86.

**Тарасевич М.І., Корнієць І.В., Пригунова А.Г.,
Недужий А.М. Бабюк В.Д., Жидков Є.А.
(ФТІМС НАН України, Київ)**

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИЛИВКА ЗІ СПЛАВУ АК5М2

E-mail: adel_nayka@ukr.net

Якість литого виробу, його властивості, в першу чергу, залежать від структури, яка утворюється при переході металу з рідкого в твердий стан. Серед основних чинників впливу на її формування треба виділити наступні: хімічний склад, початкова температура рідкого металу, час перебування в перегрітому та