

УДК 621.787

В.Г. КАПЛУН, П.В. МАТВІЙШИН, Н.С. МАШОВЕЦЬ

Хмельницький національний університет

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ СТАЛІ 38ХМЮА В ПЛАЗМІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ

Наведені результати фізико-механічних властивостей і фазового складу поверхневого шару сталі 38ХМЮА після азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах. Знайдені оптимальні технологічні режими, що забезпечують максимальну твердість поверхні і товщину азотованого шару.

The results of physical and mechanical properties and phase composition the surface layer of steel 38HMYUA after nitriding in glow discharge in hydrogen-free environments are presented. The optimal technological regimes providing the maximum surface hardness and nitrated layer thickness are found.

Ключові слова: тліючий розряд, азотування.

Азотування в тліючому розряді є ефективною технологією поверхні металів, яка дає можливості змінювати властивості поверхневих шарів (твердість, товщину, фазовий склад, градієнт зміни властивостей по товщині) в широких межах [1, 2]. Це дозволяє оптимізувати властивості зміцненого поверхневого шару для забезпечення максимальних експлуатаційних характеристик з врахуванням реальних умов експлуатації конструкційних елементів [3]. В техніці велика кількість деталей машин і інструментів працюють при ударних і значних динамічних навантаженнях, що приводить до крихкого руйнування їх поверхні. Тому важливим є забезпечення оптимального співвідношення між твердістю і пластичністю поверхневих шарів і відсутність водневого окрихчення металів в процесі їх зміцнення.

Нами розроблена технологія і обладнання для хіміко-термічної обробки деталей машин і інструментів в тліючому розряді в безводневих середовищах (суміші азоту з аргоном) [4]. Особливістю даної технології є виключення водневого окрихчення металів в процесі дифузійного насичення і підвищення пластичних характеристик поверхневих шарів за рахунок різного співвідношення фаз [5].

Модифікація поверхні сталі 38ХМЮА проводилася в тліючому розряді в середовищі суміші азоту з аргоном. Властивості азотованого шару керувалися 4-а технологічними параметрами: температурою дифузійного насичення, тиском в вакуумній камері, складом насичуючого середовища і часом азотування.

Теоретичні і експериментальні дослідження [6] показали, що всі вказані вище технологічні параметри процесу азотування мають вплив на властивості азотованого шару. Тому нами досліджувався вплив кожного із технологічних факторів при азотуванні в тліючому розряді на твердість, товщину, фазовий склад і градієнт зміни властивостей по товщині азотованого шару.

Змінюючи технологічні параметри процесу азотування, можна змінювати властивості азотованого шару в широких межах, одержуючи на поверхні нітридну зону різного фазового складу, різної товщини або азотовані шари без нітридної зони (рис. 1).

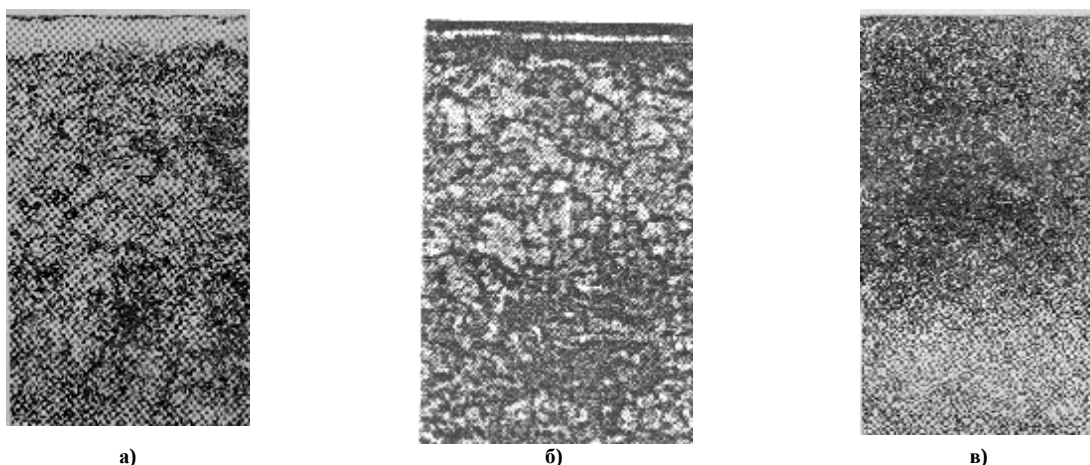


Рис. 1. Мікроструктура сталі 38ХМЮА після азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах: а, б – з нітридною зоною різною товщиною, в – без нітридної зони

На рис. 2 наведені залежності товщини і твердості азотованого шару на сталі 38ХМЮА при різних температурах дифузійного насичення і постійних значеннях двох інших технологічних факторів. З рис. 2, а видно, що товщина азотованого шару збільшується із збільшенням часу азотування по параболічній залежності і тим більше, чим вища температура дифузійного насичення. Твердість азотованого шару при азотуванні в тліючому розряді дуже швидко зростає (рис. 2, б) перші 5-10 хвилин і досягає максимальних значень для певного значення температури. При збільшенні часу азотування твердість поверхневого шару

практично мало змінюється при тисках в вакуумній камері 240 Па і більше. При тисках в вакуумній камері менших від 240 Па твердість поверхневого шару поступово зменшується із збільшенням часу азотування. Це обумовлено тим, що в процесі дифузійного насичення поверхні азотом діють два конкуруючих процеси – адсорбція і розпилення іонним бомбардуванням. Із зменшенням тиску процеси розпилення починають переважати процеси адсорбції і тим більше, чим менший тиск в вакуумній камері.

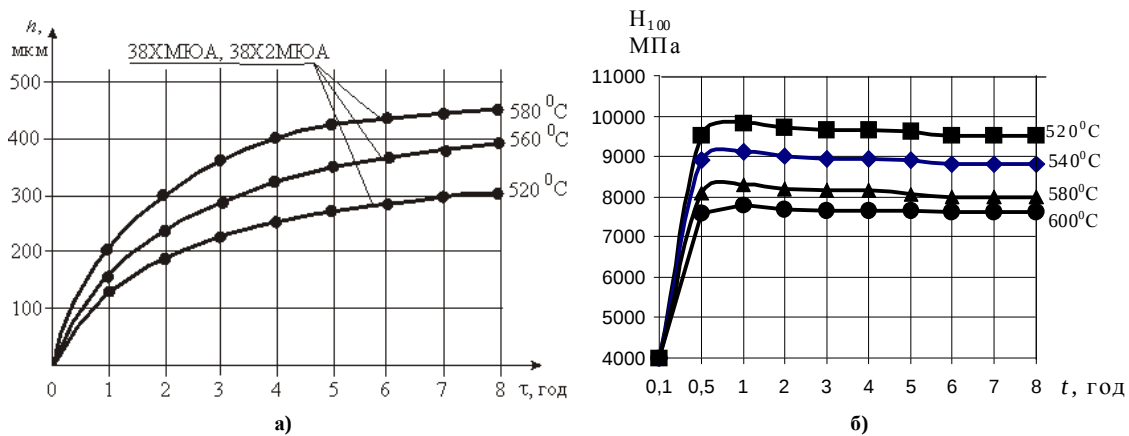


Рис. 2. Залежність товщини азотованого шару (а) і твердості поверхні (б) сталі 38ХМЮА після покращення від часу азотування при різних температурах дифузійного насичення в середовищі 75 %N₂+25 %Ar і тиску в вакуумній камері 240 Па

На рис. 3 наведені залежності властивостей поверхневих шарів сталі 38ХМЮА від процентного вмісту аргону в насичуючому середовищі в суміші з азотом при різних температурах азотування, часі дифузійного насичення 8 год і тиску в вакуумній камері 240 Па. З рис. 3, а видно, що існує оптимальне значення процентного вмісту аргону в насичуючому середовищі в суміші з азотом (25 об. % Ar), при якому досягається найбільша товщина азотованого шару і максимальне значення при температурі 620°C. Мікротвердість азотованого шару зменшується зі збільшенням процентного вмісту аргону в суміші з азотом при всіх температурах азотування.

Дослідження впливу тиску в вакуумній камері і температури дифузійного насичення при постійних значеннях часу дифузійного насичення і об'ємного вмісту аргону в суміші з азотом проводилися з використанням математичного планування експериментів (2-факторного рототабельного плану другого порядку, плану Бокса [7]). Час азотування і об'ємний вміст аргону в насичуючому середовищі вибиралися з умови забезпечення максимальної товщини і високої твердості азотованого шару (рис. 2, 3) і приймалися відповідно 8 год і 25 %Ar.

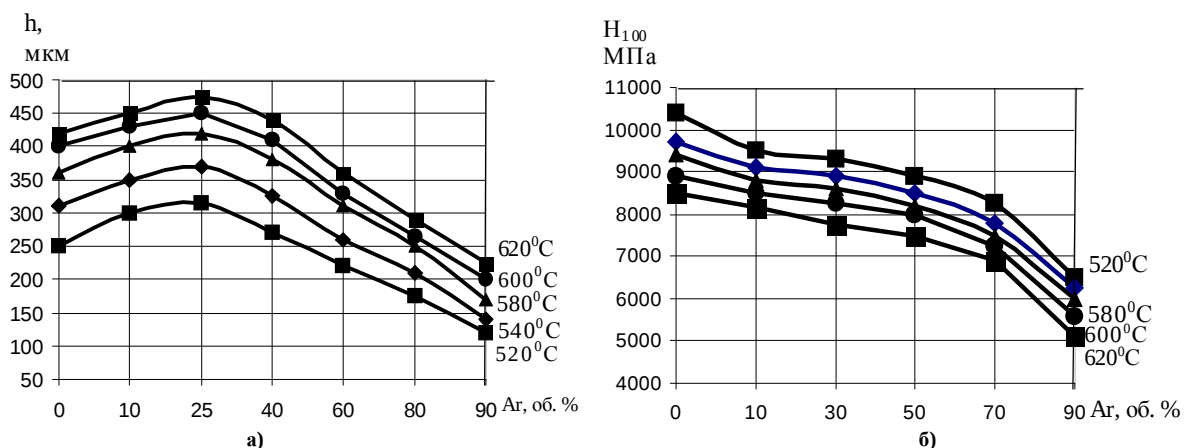


Рис. 3. Залежність товщини азотованого шару (а), твердості поверхні (б) сталі 38ХМЮА від вмісту аргону в насичуючому азотно-аргонному середовищі при різних температурах дифузійного насичення протягом 8 год і тиску в вакуумній камері 240 Па

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 кодувалися.

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:

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

де i – номер фактора;

X_i – натуральне значення i -го фактора;

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

e_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 і результати експериментальних досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Познач.	Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання
		- 1,414	- 1	0	+ 1	+ 1,414	
X_1	Температура, $^{\circ}\text{C}$	500	520	560	600	620	40
X_2	Тиск, Па	125	160	240	320	355	80

Таблиця 2

Робоча матриця та результати експериментальних досліджень

Номер режиму азотування	Робоча матриця		Мікро-твердість H_{100} , МПа	Товщина азотованого шару		Гradient твердості по товщині МПа/мкм
	T , °C	P , Па		Нітридної зони h_N , мкм	Дифузійної зони h_d , мкм	
1.	600	320	8940	3,0	400	21,9
2.	520	320	9350	6,0	240	32,2
3.	600	160	8600	6,2	360	20,0
4.	520	160	9520	7,0	230	31,7
5.	500	240	9800	10,0	180	38,1
6.	620	240	8030	1,0	410	17,9
7.	560	125	9100	4,0	290	25,3
8.	560	355	9200	5,0	360	26,3
9.	560	240	9300	6,0	350	25,8
10.	560	240	9350	5,5	365	28,3
11.	560	240	9310	4,5	360	28,2
12.	560	240	9290	5,0	355	28,1
13.	560	240	9300	3,5	350	28,4

На основі результатів експериментальних досліджень відповідно до двох факторного рототабельного плану отримані емпіричні математичні залежності товщини азотованого шару (3) і твердості поверхні (4) сталі 38ХМЮА від температури і тиску, при постійних значеннях інших параметрів азотування ($\tau=8$ год, і вмісту аргону 25 об. %Ar). На основі цих математичних залежностей наведені графіки (рис. 4) зміни вказаних вище параметрів.

З рис. 4а видно, що товщина азотованого шару зростає зі збільшенням температури азотування і зменшенням тиску у вакуумній камері. Це обумовлено зростанням енергії іонів азоту при такому характері зміни даних технологічних параметрів. Проте, твердість поверхневого шару, навпаки, зменшується при збільшенні температури і зменшення тиску в вакуумній камері. Тому, виходячи з умов одержання максимальних експлуатаційних характеристик, слід вибирати оптимальне співвідношення цих величин (твердості і товщини азотованого шару). Для умов забезпечення максимальної зносостійкості в корозійно-активному і абразивному середовищі необхідна висока твердість поверхні з ϵ -фазою і велика товщина азотованого шару, яка досягається оптимальним режимом азотування: $T=540^{\circ}\text{C}$, $P=240$ Па, $\tau=8$ год, вміст аргону в суміші з азотом 25об. %).

$$h = 356.1 + 76.9x_1 + 18.6x_2 + 7.5x_1x_2 - 31.4(x_1)^2 - 16.4(x_2)^2 \quad (3)$$

$$H_{100} = 9310.2 - 479.1x_1 + 38.9x_2 + 127.5x_1x_2 - 188.0(x_1)^2 - 70.5(x_2)^2 \quad (4)$$

Технологічні параметри азотування мають великий вплив на фазовий склад поверхневого шару і розподіл твердості по його товщині. На рис. 5 наведені графіки зміни твердості по товщині азотованого шару при різних режимах азотування. З рис. 5 і табл. 2 видно, що змінюючи режими азотування можна змінювати gradient твердості по товщині в значних межах. Це має великий вплив на експлуатаційні характеристики конструкційних елементів.

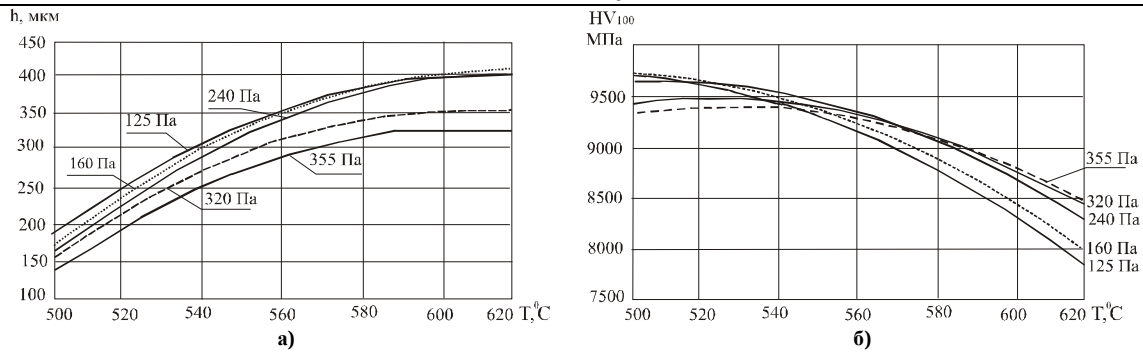


Рис. 4. Залежності товщини азотованого шару (а) і твердості поверхні (б) від температури дифузійного насичення при різних тисках в вакуумній камері

При різних режимах азотування на поверхні утворюються різні фази: ϵ , γ та $\alpha_{(\text{FeN})}$. Їх співвідношення впливає на твердість і корозійну стійкість поверхневого шару. Наявність твердої ϵ -фази (Me_{2-3}N) сприяє підвищенню корозійної стійкості поверхні. Дослідження [5] показують, що при азотуванні в тліючому розряді в безводневих середовищах на поверхні можуть бути всі три фази в різному співвідношенні. Вміст ϵ -фази збільшується зі збільшенням температури і підвищенням тиску в вакуумній камері.

Таким чином, проведені дослідження властивостей азотованого шару при азотуванні в тліючому розряді в безводневих середовищах сталі 38ХМЮА показали, що їх можна змінювати в широких межах з допомогою технологічних параметрів процесу азотування і оптимізувати за певним експлуатаційним критерієм.

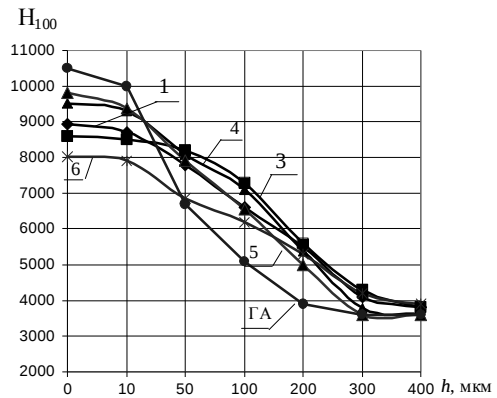


Рис. 5. Розподіл твердості по товщині азотованого шару залежно від режимів азотування (табл. 2): ГА – газове азотування в середовищі аміаку при температурі 540°C протягом 45 годин

Література

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 // В кн. «Современные технологии в машиностроении». Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388–403.
4. Каплун В. Г. Енерго і ресурсоберігальна екологічно чиста технологія та 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 / В. Г. Каплун // Физическая инженерия поверхности – Харьков, 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141–146.
6. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / Пастух И. М. – Харьков : НЕЦ ХФТИ. – 2006. – 364 с.
7. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / Тихомиров В. Б. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

Надійшла 14.8.2011 р.