

ІОННО-ПЛАЗМОВЕ АЗОТУВАННЯ НА ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХНЯХ ВИРОБІВ

І.В. Смирнов¹, А.В. Чорний¹, В.В. Лисак¹, М.О. Сисоєв², Г.П. Кисла²

¹Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056. м. Київ, просп. Перемоги, 37.

E-mail: smirnovkpi@gmail.com, black803@gmail.com, vvlysak@ukr.net

²ПАТ «ПлазмаТек». 21036. м. Вінниця, вул. Максимовича, 18.

Розроблено технологічні режими імпульсного іонно-плазмового азотування внутрішніх циліндричних поверхонь із застосуванням пустотилого перфорованого анода. В результаті формуються дифузійні покриття, що складаються з ділянок з різним хімічним і фазовим складом. Максимальна концентрація азоту спостерігається на ділянках напроти отворів в аноді, які роблять на певній відстані під певним кутом, відповідно ці ж ділянки містять тверду фазу з нітриду заліза, дискретно розташовану в м'якій матриці α -заліза. Випробування за умов сухого тертя метал по металу показали, що зносостійкість зразків, взятих з різних ділянок азотованих зразків, у 3...5 рази більша вихідного, неазотованого зразка, що свідчить про високу зносостійкість і перспективність подальшого їхнього дослідження. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: іонно-плазмове азотування, дискретно-матричні покриття, технологічні режими, зносостійкість, внутрішні циліндричні поверхні

Вступ. Іонно-плазмове азотування порівняно з іншими методами азотування має низку техніко-економічних переваг таких, як мінімальна енерго- і трудоемність процесу, високі показники контактної витривалості, тріщиностійкості, втомної міцності зміцненої поверхні. Крім того, воно дозволяє усувати хімічні забруднювачі, що потрапляють в навколишнє середовище при застосуванні традиційних обробок хімічних, електрохімічних, сольових тощо.

Одночасно з екологічністю та економічністю процесу іонно-плазмове азотування дозволяє отримувати дифузійні шари заданого складу і структури як з нітридною зоною на поверхні, так і без неї. В першому випадку забезпечується висока корозійна та зносостійкість поверхонь тертя, але зменшується тріщиностійкість, в другому – підвищується опір знакозмінним навантаженням за умов високого тиску та температури.

Іонно-плазмове азотування дозволяє також розв'язати проблему зміцнення отворів особливо глибоких, довжина яких в десять і більше разів перевищує діаметр, що є досить складним завданням практично для всіх методів інженерії поверхні та потребує подальших досліджень.

Технологіям азотування, в тому числі сумісного насичення поверхні сталі азотом і вуглецем (карбонітрування), присвячено багато робіт як вітчизняних, так і закордонних вчених [1–4].

В роботі [5] наведено результати азотування плазмою високої щільності при температурі 673 К з порожнім трубчастим катодом зразків невеликого розміру з нержавіючої сталі мартенситного кла-

су AISI 420-J2 в результаті отримано поверхневий азотований шар товщиною до 80 мкм і концентрацією азоту на поверхні 31 ат. %. В роботі [6] також виконано дослідження з азотування в режимі порожнистого катода виробів типу мікротруб зі сталей AISI 304 та AISI 316 довжиною від 5,5 до 30,0 мм і внутрішнім діаметром від 0,58 до 16,9 мм та зовнішнім від 0,88 до 21,5 мм. Суміш газів азоту та водню пропускала через отвір, при цьому твердість внутрішньої поверхні підвищувалася до більш ніж 800 HV.

Автори роботи [7] проводили іонне азотування трубчастих зразків зі сталі 32CrMoV12-10 з діаметром отворів 6 і 8 мм та довжиною 500 мм при температурі 500 °С протягом 6 год із сумішшю газів водню та азоту. Довжина азотованого шару становила 234 мм при діаметрі отвору 8 мм і 138 мм при діаметрі отвору 6 мм. Таким чином, довжина азотованого шару зі зменшенням діаметра отвору зменшувалася. Азотована поверхня складалася з композиційного шару на поверхні та дифузійної перехідної зони. Поверхнева твердість зразків збільшилась на 100 %. Автори роботи [8] застосовували газове азотування для обробки каналів стволів стрілецької зброї діаметром від 5,56 до 12,5 мм зі сталі 38НМJ в середовищі аміаку NH₃. В результаті формувалася зміцнений шар товщиною близько 220 мкм з мікротвердістю біля поверхні 900 HV, при цьому на поверхні утворювався білий шар з нітридів заліза структури $\epsilon + \gamma'$ -фаз товщиною 12...15 мкм, який має високу твердість, корозійну стійкість, але низьку тріщиностійкість.

Смирнов І.В. – Scopus Author ID 57201535183, Чорний А.В. – Scopus Author ID 57194576427,

Лисак В.В. – <https://orcid.org/0000-0002-6565-2793>, Сисоєв М.О. – <https://orcid.org/0000-0001-7243-2388>,

Кисла Г.П. – Scopus Author ID 26428845500

© І.В. Смирнов, А.В. Чорний, В.В. Лисак, М.О. Сисоєв, Г.П. Кисла, 2022

Тріщино- і зносостійкість азотованих шарів значною мірою можна підвищити шляхом формування дискретних структур, які все ширше застосовуються в різноманітних галузях машинобудування [9].

Принцип дискретної структури полягає в заміні суцільної структури поверхневого шару на дискретно-матричну, що значно підвищує граничний стан поверхні (контактні навантаження, критичні деформації основи, тріщиностійкість, довговічність) порівняно з суцільним покриттям тієї ж товщини, складу і твердості.

Зважаючи на недостатнє вивчення явищ, що відбуваються на поверхні дискретної структури, та відсутність методів її конструювання, багато досліджень було направлено на оптимальне конструювання дискретної структури з урахуванням залишкових напружень [10].

Розміри і конфігурацію окремих ділянок розраховують, виходячи з умов мінімізації рівня напружено-деформованого стану під час механічного й температурного впливу та визначають аналітичними і чисельними методами.

Для формування дискретно-матричної структури іонно-плазмовим методом використовують різноманітні екрани, трафарети, маски, в тому числі у вигляді металевої сітки [11, 12]. Геометричні параметри сіток обирають з розрахунку розмірів дискретної ділянки і суцільності із забезпеченням мінімального рівня залишкових напружень в поверхневому шарі. Відстань між екраном і підкладкою визначає форму крайки окремої дискретної ділянки.

Таким чином, розробка і дослідження способів формування дискретно-матричної структури є однією з актуальних задач в проблемі підвищення фізико-механічних властивостей поверхні.

Мета даної роботи – зміцнення внутрішніх поверхонь циліндричних отворів шляхом формування дискретно-матричних покриттів при іонно-плазмовому азотуванні.

Методика досліджень. Дослідження проводили із застосуванням експериментальної вакуумної установки, оснащеної джерелом постійної регульованої напруги, високочастотним генератором та імпульсним модулятором, виконаним на вакуумних електронних приладах ГУ-81М. Завдяки своїм характеристикам ці прилади автоматично обмежують струм і навантаження заданою величиною та переривають процес дугоутворення, який супроводжується вибухоподібним локальним руйнуванням катодної поверхні.

Досліди проводили на трубчастих зразках із зовнішнім діаметром 30 мм, внутрішнім – 12 мм та довжиною 240 мм. Основним матеріалом була сталь 40XH2MA, оскільки її склад і властивості близькі до матеріалу, з якого можна виготовляти стволи вогнепальної зброї, що дуже актуально сьогодні для покращення обороноздатності України. Хімічний склад цієї сталі такий, мас. %: 0,41 C; 0,31 Si; 0,57 Mn; 0,003 S; 0,017 P; 0,8 Cr; 1,37 Ni; 0,07 W; 0,01 V; 0,21 Mo; 0,18 Cu; 0,001 Ti; 0,016 Al; 0,009 N, а її механічні властивості та термічна обробка згідно з сертифікатом якості наведено в таблиці.

Вимірювання мікротвердості на внутрішніх поверхнях здійснювали по перерізу мікрошліфа за допомогою твердоміра ПМТ-3 з навантаженням на індентор 50 г, зносостійкість визначали за схемою вал-колодка, контртілом слугував стрижень діаметром 10 мм із вуглецевої сталі, загартованої до твердості 28...35 HRC. Мікроструктура і хімічний склад покриттів визначали за допомогою скануючого електронного мікроскопа РЕМ-106І, оснащеного енергодисперсним мікроаналізатором OXFORD x-act. Дифрактометричний аналіз проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV.

Результати досліджень. Процес азотування здійснювали в режимі аномального тліючого розряду, за якого вся поверхня катодного електрода (у нашому випадку деталі) бере участь у розряді і вкрита плазмовим світінням. Напруга на такому розряді становить сотні вольт, а густина струму на деталі до 10 мА/см².

Параметри режиму високочастотного імпульсного азотування, що забезпечують стабільне горіння аномального тліючого розряду наведено нижче:

тиск в робочій камері, Па	250...350
напруга U , кВ	0,8...1,0
густина струму, мА/см ²	9
частота імпульсів f_p , кГц	10
скважність імпульсів Q	1,5...2,0
тривалість процесу, год	5...6

В якості робочого газу використовували суміш 75 % N₂ + 25 % Ar, а для очищення поверхні на початковому етапі – чистий аргон.

Температура зразка під час азотування не перевищувала 580 °С, її регулювали шляхом зміни таких параметрів імпульсного режиму живлення, як напруга та скважність імпульсів.

Частоту імпульсів на рівні 10 кГц встановлювали, виходячи з умов недопущення переходу

Механічні властивості						Термічна обробка			
σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	a_n , Дж/см ²	HV	Гартування		Відпуск	
						Температура, °С	Середовище охолодження	Температура, °С	Середовище охолодження
961	1118	21	64	107	195	850...40	Олива	620...60	Вода

аномального тліючого розряду в дуговий, який пошкоджує поверхню виробів і може призвести до браку. Таким чином, застосування імпульсного режиму азотування забезпечує стійкість процесу дифузійного насичення поверхні без електричних пробоїв та дугоутворення і відповідно до вольт-амперної характеристики електричного розряду реалізується режим аномального тліючого розряду. Важливу роль в даному процесі відіграє скважність імпульсів, зменшення якої призводить до локалізації об'єму плазми в трубчастому зразку. Це можна компенсувати збільшенням напруги, однак викликає на поверхні зразка перегрів, що призводить до небажаних структурних перетворень. Рівномірність горіння плазми опосередковано оцінювали за нагріванням зразка за допомогою термопар, розташованих на краях і посередині зразка. Якщо тліючий розряд рівномірно розповсюджується по всій довжині зразка, то різниця температур між термопарами не перевищує $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Азотування внутрішніх поверхонь отворів у трубчастих зразках реалізовували таким чином:

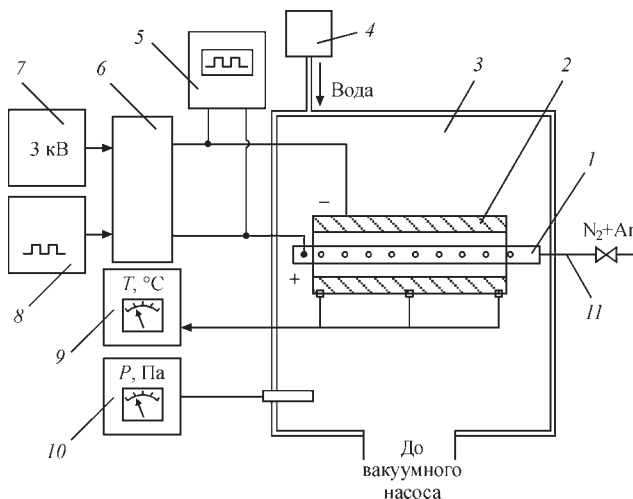


Рис. 1. Схема експериментальної установки іонно-плазмового азотування: 1 – анод трубчастої форми з отворами для подачі газу; 2 – порожнистий азотований катод-зразок; 3 – вакуумна камера; 4 – блок водяного охолодження вакуумної камери; 5 – осцилограф; 6 – модулятор; 7 – джерело живлення постійного струму з регулюванням напруги; 8 – генератор імпульсів зі зміною частоти та скважності; 9 – термопари та пристрій для вимірювання температури; 10 – пристрій для вимірювання тиску в камері; 11 – вакуумний натікач робочого газу

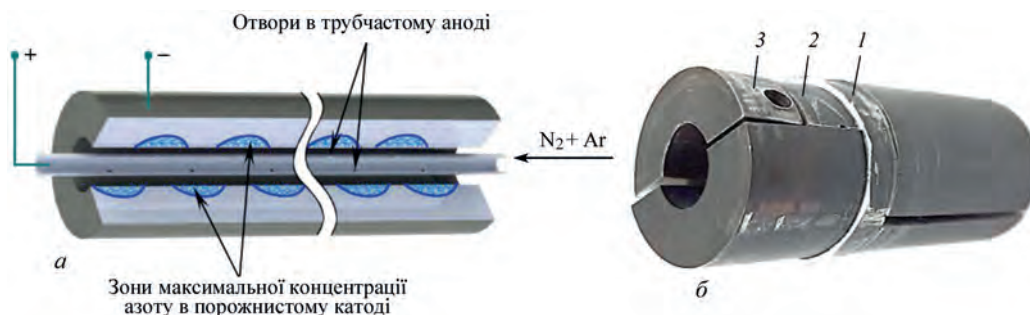


Рис. 2. Схема розташування дифузійних зон дискретно-матричного азотування вздовж трубчастого зразка (а) та експериментальний зразок (б), розрізаний на частини (1...3) для проведення мікроскопічних досліджень та випробувань на тертя

всередині зразка коаксіально встановлювали трубчастий анод діаметром 5 мм з бічними отворами та заглушеним одним торцем, відкритий торець анода з'єднували трубопроводом для подачі робочого газу $75\%\text{N}_2 + 25\%\text{Ar}$, так щоб газ входив через бічні отвори анода в порожнину зразка і потім виходив у вакуумну камеру, яка постійно відкачується (рис. 1). Катод-зразок і анод фіксували спеціальними ізоляторами, встановленими на загальній суцільній платформі.

Отвори у трубчастому аноді розміщували таким чином, щоб унеможливити перекриття азотованих зон з максимальною концентрацією азоту (рис. 2, а). З урахуванням зовнішнього діаметра анода та внутрішнього діаметра порожнистого катода, а також розподілу поля концентрації азоту по поперечному перерізу отвори робили через 20 мм під кутом 120° .

Експериментальний зразок (рис. 2, б) розрізали таким чином, щоб можна було провести комплекс досліджень. В середній частині вирізали зразок № 1 у вигляді кільця для проведення мікроскопічних досліджень, далі відрізали зразки № 2 і 3 у вигляді півкільць для проведення випробувань на зносостійкість за схемою вал–колодка. На поверхні зразка також видно отвір для встановлення трубчастої термопар, яка з метою електричної розв'язки містилася в керамічному чохлі.

Поля розподілу концентрації азоту по поперечному перерізу зразка № 1 наведено на рис. 3, а, з чого можна зробити висновок про нерівномірність розподілу азоту по перерізу, при цьому максимальна концентрація спостерігається з боку напроти розташування отворів у трубчастому аноді. На кривій зміни концентрації азоту в поперечному перерізі (рис. 3, б) спостерігаються перегини, перший незначний на відстані від поверхні 15 мкм з концентрацією азоту на рівні 21 ат. % і другий на відстані 60 мкм з концентрацією азоту на рівні 6 ат. %, далі змін не спостерігається, що пов'язано з низькою чутливістю мікроаналізатора.

На рис. 4, а наведено мікроструктуру азотованого шару зразка № 1 в місці з максимальною концентрацією азоту, на якій спостерігаються по-

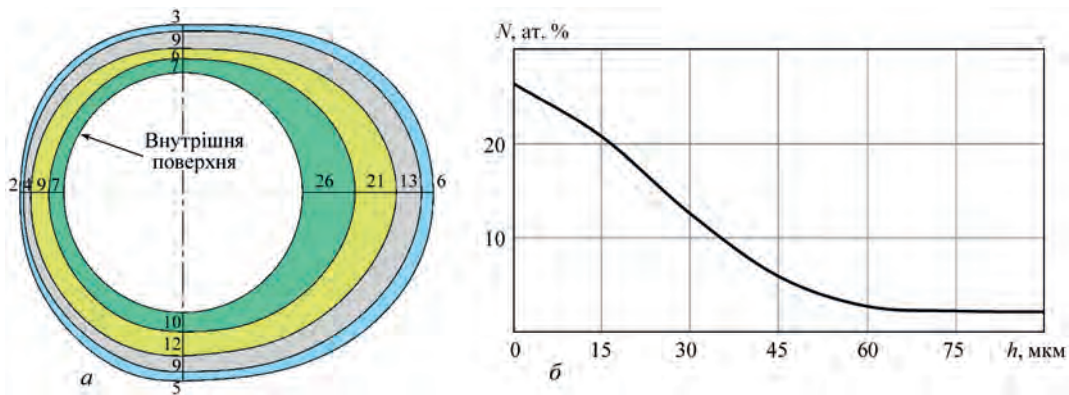


Рис. 3. Розподіл концентрації азоту (ат. %) по поперечному перерізу зразка № 1 (а) і радіально від центра в зоні з максимальною концентрацією азоту (б)

верхневі зони з різною концентрацією азоту, а на рис. 4, б – відповідно зміну мікротвердості.

Аналіз результатів визначення хімічного складу азотованого шару показав, що структура шарувата і складається з кількох зон: нітридної на поверхні, де утворилась γ' -фаза, та азотистого фериту. Легуючі елементи хром, нікель розчиняються в фериті, підвищують розчинність азоту в α -фазі, утворюючи спеціальні нітриди. Виділяючись в дрібнодисперсному стані ці нітриди сприяють підвищенню твердості азотованого шару, переважно в нижньому шарі насиченої зони. Хром як перехідний елемент активно взаємодіє з азотом та підвищує розчинність азоту в α -фазі. І зона з γ' -фазою дуже тонка і крихка. Після азотування на поверхні І зони вміст азоту сягає 8,97 мас. % (26,38 ат. %). Згідно з діаграмою стану залізо-азот при концентрації азоту близько 20 ат. % будуть утворюватися нітриди заліза, що обумовлює наявність максимальної твердості біля поверхні на рівні 805 МПа. В ІІ зоні хімічний склад азотованої поверхні відрізняється як від початко-

вого, так і азотованого шару: вміст азоту сягає 6,25 мас. % (20,8 ат. %) на відстані 6 мкм. ІІІ зона, на якій сформувався азотований шар, також зазнала змін хімічного складу: кількість азоту зменшилась до 3,5 мас. % (12,6 ат. %) на відстані 25 мкм, остання зона на межі з основою має вміст азоту 1,57 мас. % (5,96 ат. %) на відстані 46,25 мкм. На відстані близько 100 мкм кількість азоту становить 0,57 мас. % (2,22 ат. %).

Результати дифрактометричного аналізу (рис. 5), проведеного біля поверхні зразка № 1, показали наявність фази Fe_2N на рівні 7 %, решта припадає на α -Fe та Fe_3C відповідно 92 та 1 %.

На основі отриманих даних з розподілу концентрації азоту по поперечному перерізу зразка (рис. 3, б) наявність на поверхні білої нітридної зони (рис. 4, а), що підтверджується результатами дифрактометричного аналізу (див. рис. 5), можна зробити висновок, що в результаті іонно-плазмового азотування внутрішніх поверхонь із застосуванням пустотілого перфорованого анода формуються дифузійні покриття, що складаються з ділянок з різ-

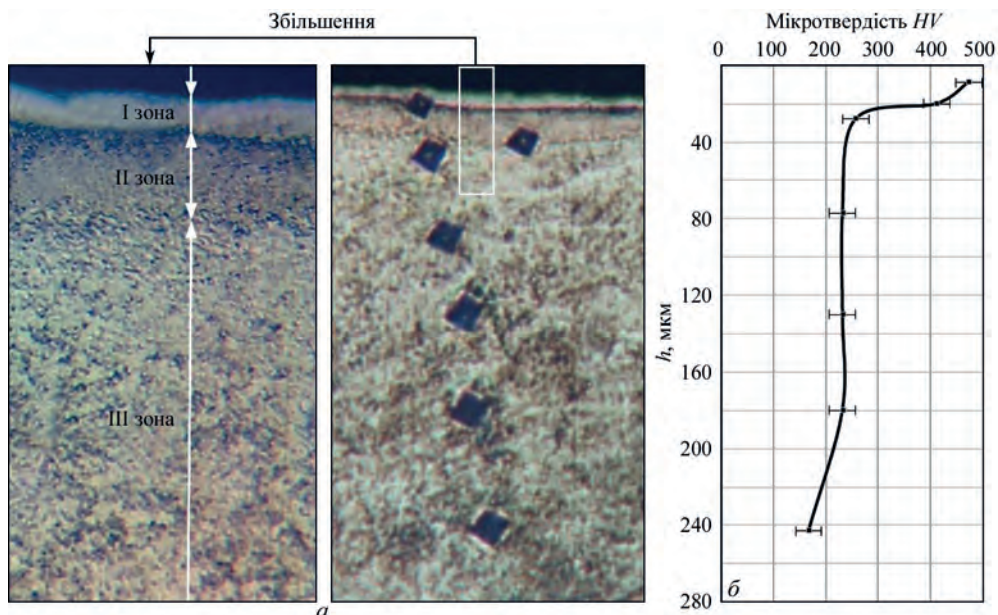


Рис. 4. Мікроструктура азотованої поверхні з максимальною кількістю азоту (а) і зміна мікротвердості в поперечному перерізі від центра трубчастого зразка (б)

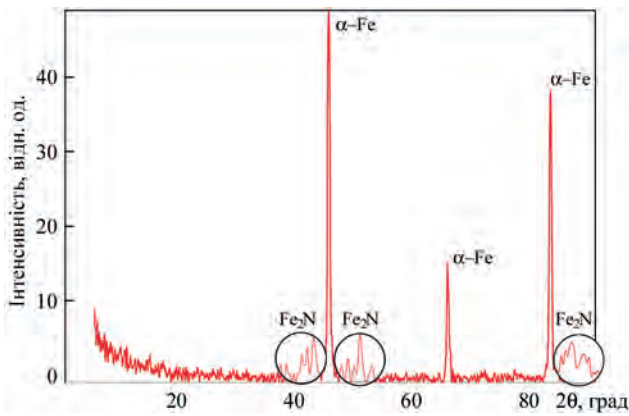


Рис. 5. Дифрактограма поверхневого шару зразка № 1 в місці з максимальною кількістю азоту

ним хімічним та фазовим складом. Максимальна концентрація азоту спостерігається на ділянках, що знаходились напроти отворів в аноді, зроблених на певній відстані (див. рис. 2, а), відповідно ці ж ділянки містять тверду фазу з нітриду заліза, яка відповідає за підвищення зносостійкості азотованої поверхні. Тобто є всі ознаки наявності певним чином дискретного розташування твердої нітридної фази в м'якій матриці α -заліза, що відповідає дискретно-матричним покриттям.

З метою підтвердження даного висновку та дослідження впливу дискретно-матричних покриттів, отриманих іонно-плазмовим азотуванням на зносостійкість, були проведені випробування на тертя зразків, вирізаних на різних ділянках, які мають різний розмір, наявність або відсутність на поверхні нітридної I зони з високою концентрацією азоту і відповідно максимальну твердість, що відображається на результатах зі зношування (рис. 6).

Як бачимо, найбільшу зносостійкість має зразок № 3, взятий напроти отвору в аноді, що демонструє після зношення нітридної зони з максимальною твердістю втрату маси з рівномірним її збільшенням. Зразок № 2, вирізаний зі зміщенням від отвору в аноді 15 мм, демонструє рівномірну втрату маси, як і у випадку зі зразком № 3, що по-

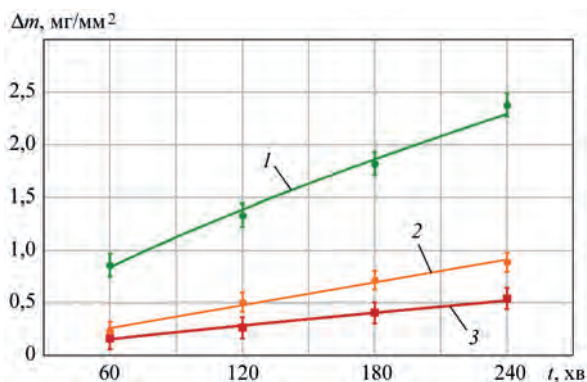


Рис. 6. Кінетика зношування зразків зі сталі 40ХН2МА у вихідному стані та після іонно-плазмового азотування: 1 – вихідний зразок; 2, 3 – азотований зразок відповідно № 2 і 3

яснюється більш однорідною структурою азотованого шару, проте зносостійкість в 1,8 раза нижча. Взагалі зносостійкість усіх азотованих зразків після 240 хв випробувань в 3–5 рази більша, ніж вихідного неазотованого зразка. Це свідчить про перспективність використання дискретно-матричних покриттів та перспективність подальших їх досліджень. Отримані результати є універсальними і можуть бути застосовані для зміцнення інших сталей, що підлягають азотуванню.

Висновки

1. Розроблено технологічні режими імпульсного іонно-плазмового азотування внутрішніх поверхонь на базі експериментальної вакуумної установки, оснащеної джерелом постійної регульованої напруги, високочастотним генератором та імпульсним модулятором. Завдяки своїм характеристикам ці прилади автоматично обмежують струм навантаження заданою величиною та переривають процес дугоутворення, який супроводжується вибухоподібним локальним руйнуванням катодної поверхні зразка, що не припустимо.

2. В результаті проведених досліджень встановлено, що іонно-плазмове азотування внутрішніх поверхонь із застосуванням пустотілого перфорованого анода призводить до формування дифузійних покриттів, що складаються з ділянок з різним хімічним та фазовим складом. Максимальна концентрація азоту на рівні 8,97 мас. % (26,38 ат. %) спостерігається на ділянках, що знаходились напроти отворів в аноді, які роблять на певній відстані під певним кутом, відповідно ці ж ділянки містять тверду фазу з нітриду заліза, дискретно розташовану в м'якій матриці α -заліза.

3. Випробування за умов сухого тертя метал по металу показали, що зносостійкість зразків, взятих з різних ділянок азотованих зразків, у 3...5 рази більша, ніж вихідного неазотованого зразка, що свідчить про їхню високу зносостійкість та перспективність подальших їх досліджень.

4. В подальшому за результатами досліджень планується розробка технологічного регламенту для конкретних трубчастих виробів, внутрішні отвори яких підлягають зміцненню шляхом азотування.

Список літератури

1. Пастух І.М. (2006) *Теорія і практика безводородного азотирования в тлеющем разряде*. Харьков, ННЦ ХФТИ.
2. Каплун В.Г., Каплун П.В. (2015) *Ионное азотирование в безводородных средах*. Хмельницький, ХНУ.
3. Pye, D. (2003) *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*. ASM International Park, Ohio.
4. Hossein Aghajani, Sahand Behrangi (2016) *Plasma Nitriding of Steels*. Springer International Pub.
5. Farghali, A., Aizawa, T. (2017) Phase transformation induced by high nitrogen content solid solution in the martensitic

- stainless steels. *Materials Transactions*, **58**, 697–700. DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2016418>
- Aizawa, T., Wasa, K. (2017) Low temperature plasma nitriding of inner surfaces in stainless steel mini-/micro-pipes and nozzles. *Micromachines*, **8**, 157. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi8050157>
 - Pokorný, Z., Kadlec, J., Hruby, V. et al. (2011) Hardness of plasma nitrided layers created at different conditions. *Chemické Listy*, **105**, 717–720.
 - Latas, Z., Michalski, J., Tacikowski, J., Betiuk, M. (2013) Azotowanie regulowane łuf broni strzeleckiej. *Inżynieria powierzchni*, **1**, 26–33.
 - Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. (2001) Упрочняющие покрытия дискретной структуры. *Технологические системы*, **4**, 17–25.
 - Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б., Рутковский А.В. (2002) Определение параметров дискретной структуры покрытий с учетом остаточных напряжений. *Проблемы прочности*, **4**, 119–125.
 - Katoh, T., Aizawa, T., Yamaguchi, T. (2015) Plasma assisted nitriding for micro-texturing martensitic stainless steels. *Manufacturing Rev.*, **2**, 7 pp. DOI: <https://doi.org/10.1051/mfreview/2015004>
 - Матвеев Н.В. (2007) Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора. *Сварочное производство*, **5**, 35–38.
 - Pye, D. (2003) *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*. ASM International Park, Ohio.
 - Hossein Aghajani, Sahand Behrangi (2016) *Plasma Nitriding of Steels*. Springer International Pub.
 - Farghali, A., Aizawa, T. (2017) Phase transformation induced by high nitrogen content solid solution in the martensitic stainless steels. *Materials Transact.*, **58**, 697–700. DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2016418>
 - Aizawa, T., Wasa, K. (2017) Low temperature plasma nitriding of inner surfaces in stainless steel mini-/micro-pipes and nozzles. *Micromachines*, **8**, 157. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi8050157>
 - Pokorný, Z., Kadlec, J., Hruby, V. et al. (2011) Hardness of plasma nitrided layers created at different conditions. *Chemické Listy*, **105**, 717–720.
 - Latas, Z., Michalski, J., Tacikowski, J., Betiuk, M. (2013) Azotowanie regulowane łuf broni strzeleckiej. *Inżynieria powierzchni*, **1**, 26–33.
 - Lyashenko, B.A., Movshovich, A.Ya., Dolmatov, A.I. (2001) Reinforcing coatings of discrete structure. *Tekhnologicheskije Sistemy*, **4**, 17–25 [in Russian].
 - Lyashenko, B.A., Soroka, E.B., Rutkovsky, A.V. (2002) Determination of discrete structure parameters of coatings taking into account the residual stresses. *Problemy Prochnosti*, **4**, 119–125 [in Russian].
 - Katoh, T., Aizawa, T., Yamaguchi, T. (2015) Plasma assisted nitriding for micro-texturing martensitic stainless steels. *Manufacturing Rev.*, **2**, 7. DOI: <https://doi.org/10.1051/mfreview/2015004>
 - Matveev, N.V. (2007) Vacuum producing of discrete wear-resistant coatings using forming separator. *Svarochn. Proizvodstvo*, **5**, 35–38 [in Russian].

References

ION-PLASMA NITRIDING OF INNER CYLINDRICAL SURFACES OF PRODUCTS

I.V. Smirnov¹, A.V. Chorny¹, V.V. Lysak¹, M.O. Sysoyev², G.P. Kysla²

¹E.O. Paton Training-Research Institute of Materials Science and Welding of NTUU «Igor Sykorskyi Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohi Ave. 03056. Kyiv. E-mail: smirnovkpi@gmail.com, black803@gmail.com, vvlysak@ukr.net

²PJSC «PlasmaTek». 18 Maksymovych 21036, Vynnytsya.

Technological modes of pulsed ion-plasma nitriding of inner cylindrical surfaces with application of a hollow perforated anode were developed. It results in formation of diffusion coatings, consisting of areas of different chemical and phase composition. Maximum concentration of nitrogen is observed in the areas opposite openings in the anode, which are made at a certain distance at a certain angle. Accordingly, these same areas contain a hard phase from iron nitride, discretely arranged in a soft matrix of α -iron. Testing under the conditions of dry friction of metal against metal showed that the wear resistance of specimens, taken from different areas of the nitrided specimens, is 3 – 5 times higher than in the initial non-nitrided specimen that is indicative of a high wear resistance and good prospects for their further investigation. 12 Ref., 1 Tabl., 6 Fig.

Keywords: ion-plasma nitriding, discrete-matrix coatings, process modes, wear resistance, inner cylindrical surfaces

Надійшла до редакції 17.10.2022

Hypertherm associates офіційно закриває свою юридичну особу в росії

1 листопада 2022 р.



Hypertherm Associates, американський виробник виробів для промислового різання та програмного забезпечення, оголосив про плани офіційно закрити свою юридичну особу в росії. Це оголошення сталося після рішення в березні цього року призупинити бізнес через військове вторгнення росії в Україну. Триваюча гуманітарна криза та непередбачуване бізнес-середовище змусили

Hypertherm Associates дійти висновку, що відновлення бізнесу в росії деякий час буде неможливим.

Hypertherm Associates є американським виробником виробів для промислового різання та програмного забезпечення. Його продукти, включаючи плазмові системи Hypertherm і гідроабразивні системи OMAX, використовуються компаніями по всьому світу для будівництва кораблів, літаків, вагонів, а також для виготовлення важкого обладнання, сталевих будівель, вітрових турбін тощо. На додаток до систем різання, компанія створює ЧПК і програмне забезпечення, що сприяють підвищенню продуктивності та прибутковості для сотень тисяч підприємств.

Заснована у 1968 р., Hypertherm Associates є 100-відсотковою компанією, що належить асоційованам співробітникам, у якій працює близько 2000 співробітників, а також працюють представництва партнерів по всьому світу.

Дізнайтеся більше на www.HyperthermAssociates.com.