

КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ІОННО-АЗОТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ

Надані результати електрохімічних вимірювань, металографічного аналізу і кавітаційно-ерозійної зносостійкості конструкційних нормалізованих та іонно-азотованих вуглецевих сталей 20, 45 і 40X та проаналізовані причини підвищення зносостійкості залежно від структури азотованих шарів, інтенсивності їх формування залежно від режимів азотування.

There are results of electrochemical researches; metallographic analysis and cavitation- erosive wear resistance of the ion- nitric constructional steels in 20, 45 and 40 ch and the main analysis of the consequences of the high level of the wear resistance as for the structure of nitric spheres, and their rate as for the nitriding conditions.

Ключові слова: кавітація, іонне азотування, поляризаційні криві

Відомо, що при азотуванні металів утворюються багатошарові дифузійні шари, які складаються з поверхневої нітридної зони і дифузійного підшару-зони внутрішнього азотування. Для деталей, які працюють в корозійному середовищі на тертя, при невеликих контактних напруженнях необхідний азотований шар з розвинутою нітридною зоною. Для деталей, які працюють на тертя при великих контактних напруженнях в умовах циклічного навантаження і підвищених температур необхідний азотований шар з розвинутим дифузійним підшаром – зоною внутрішнього азотування [1]. У зв'язку з цим, велике значення має визначення корозійних і механічних параметрів навантаження деталі та відповідної їм структури і фазового складу азотованого шару, а також створення різних варіантів технологій азотування, які забезпечують отримання заданих характеристик азотованого шару.

Розробка нових технологій іонного азотування та обладнання для його проведення наведена в роботах [2, 3]. Реалізація технологій азотування для підвищення кавітаційно-ерозійної стійкості деталей харчового обладнання описана в роботах [4, 5]. Переважна більшість робіт за цією тематикою відносяться до азотування деталей, які працюють в технологічних середовищах цукрових [2, 4, 6], соляних [5] або хімічних [1] виробництв. Електрохімічна поведінка, зносостійкість і кавітаційна стійкість іонно-азотованих поверхонь в технологічних середовищах молокопереробних заводів майже відсутня. У той же час в роботі [7], виходячи з аналізу середовищ молочної промисловості, виділяється шість підвидів корозійно-механічного зношування в системі метал-середовище (М-С). Ретельний аналіз зношених деталей показав, що більша частина деталей робочих органів обладнання працює та інтенсивно зношується при контакт з рідкими середовищами (молоко і рідкі молочні продукти); згущені середовища (сметана, вершки, закваска); пастоподібні маси (вершкове масло, сирна маса, плавлені сирки та ін.); пластичні і сипкі маси (тверді і м'які сири, бринза, лактоза, сухе молоко та ін.). Цей вид корозійно-механічного зношування (КМЗ) за своїм характером та інтенсивністю суттєво відрізняється від інших видів КМЗ, а тому виділений Г.А. Прейсом в окремий вид і названий хіміко-механічним зношуванням (ХМЗ). Дана робота є продовженням започаткованого Г.А.Прейсом напрямку досліджень ХМЗ деталей обладнання харчових виробництв.

Іонно-плазмове азотування нормалізованих і попередньо підготовлених зразків сталей 45 і 40X проводили на установці, розробленій проф. Каплуном В.Г [2]. Азотування проводили в азото-аргонному середовищі (75 % N₂ і 25 % Ar) за режимами I і II. Для режиму I: тиск $p = 200$ Па, температура $t = 500^{\circ}\text{C}$, час азотування в обох випадках $t = 6$ год.

Кавітаційно-ерозійну зносостійкість визначали на установці з магнітострикційним вібратором (МСВ), що укомплектовано генератором УЗДН-А потужністю 150 Вт, частотою 22 кГц і амплітудою коливань МСВ 50 мкм. Зразок для випробувань розміщувався в ємкості для робочих середовищ, віддалі між робочою поверхнею зразка і торцем МСВ становила 0,6 мм, яка забезпечує найбільш інтенсивне руйнування поверхні.

Робоче середовище охолоджувалося двоконтурною системою охолодження, яка складається з двох змієвикових теплообмінників із різнонаправленими витками, один з яких розміщений безпосередньо в зоні кавітації зразка. Крок контурів підібрано експериментально з метою забезпечення "насосного" ефекту перемішування об'ємів середовища при подвійному осьовому переміщенні МСВ за один період його коливань. Така система охолодження забезпечує стабілізацію температури робочого середовища в межах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ протягом усього часу проведення випробувань [8].

Електрохімічні випробування проводили за допомогою потенціостату за трьохелектродною схемою вимірювання в 3 %-му розчині хлориду натрію, молочки, сироватці і молочної кислоти.

Дослідженнями встановлено, що незалежно від складу газової атмосфери в поверхневих шарах сталі 40X утворюються ε ($F_{12-3}\text{N}$), γ' ($F_{14}\text{N}$) і α -фази ($F_{16}\text{N}_2$). При цьому фазовий склад і співвідношення між фазовими структурами можна регулювати шляхом зміни параметрів азотування: температури азотування T , K ; тиску газової суміші p , Па; вмісту азоту в азото-аргонній суміші. Аналіз отриманих даних показує, що найбільш суттєво впливає на кількість утворення тієї чи іншої фази температура іонного азотування. Так, з її

зменшенням підвищується кількість ε -фази і одночасно зменшується кількість γ' та α -фаз.

Товщина нітридної зони по мірі збільшення температури обробки, збільшення вмісту азоту в газовій суміші, а також з підвищенням вмісту вуглецю зростає. Так, при іонному азотуванні за режимом I товщина нітридної зони на сталі 20 складає біля 7 мкм, а на сталі 45 – 12 мкм. У той же час зі збільшенням вмісту вуглецю основи, зменшується глибина дифузійного шару, відповідно, з 0,7 до 0,6 мкм.

Зі збільшенням температури і часу азотування зростає глибина карбонітридної зони і загальна товщина дифузійної зони. Карбонітридна зона при збільшенні температури азотування на 30 К протягом 4 год збільшилася з 18 мкм до 21 мкм. При азотуванні протягом 4 год глибина дифузійної зони становила 0,21 мм, а протягом 6 год – 0,26 мм.

Аналіз поляризаційних кривих показує значне сповільнення корозійних процесів азотованих зразків, порівняно з нормалізованими. На кривих знятих в статичі і при кавітації є ділянки пасивного стану (рис. 1), а поляризаційні криві неазотованих зразків мають більші кути нахилу до осі потенціалів, що є свідченням більш високих швидкостей протікання анодних і катодних реакцій. Крім того, і в статичі, і в динаміці (кавітації) проходить зміщення рівноважного потенціалу в область більш додатніх значень: від 570 мВ для сталі 45 в статичі до 390 мВ для цієї ж сталі після іонного азотування в 3 %-му розчині хлориду натрію. Останнє пояснюється утворенням на поверхні високоазотистої ε -фази, яка має високу корозійну стійкість.

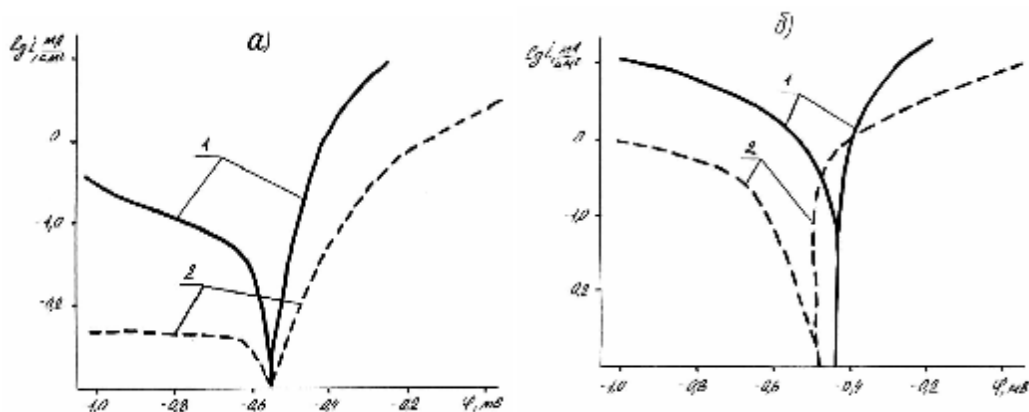


Рис. 1. Поляризаційні криві сталі 45 в статичі (а) і при кавітації (б) в 3 %-му розчині хлориду натрію (1 – зразок нормалізований; 2 – зразок азотований)

З іншої сторони, ε -фаза внаслідок високих внутрішніх напружень при її формуванні характеризується великою кількістю мікротріщин, мікропор та густиною дислокацій, що є центрами зародження втомних тріщин при циклічному кавітаційному мікроударному навантаженні в корозійно-активному середовищі. При зниженні температури азотування формування ε -фази йде з меншою швидкістю, що веде до зменшення кількості мікропор і мікротріщин. Тому низькотемпературне азотування зразків після попередньої термічної обробки проводили при температурах 500°C і 560°C (нижче точки A_{r1}). Мікротвердість нітридної зони азотованих зразків сталі 40X за режимом I зростає з 210 до 234 HV, а за за режимом II – з 210 до 440 HV.

Величина встановлених потенціалів азотованих зразків також зміщуються в сторону більш додатніх значень, що є ознакою підвищення корозійної стійкості. Для азотованих поверхонь сталі 45 величина встановленого потенціалу $\varphi_{вст}$ в 3 %-му розчині хлориду натрію знаходиться за рівнянням:

$$\varphi_{вст} = -182,4 - 0,9t + 0,2CN_2 + 0,04p, \quad (1)$$

де t , CN_2 р – температура, вміст азоту в газовій суміші та її тиск відповідно.

Аналіз кривих кавітаційного зношування (рис. 2) азотованих зразків порівняно з нормалізованими показав значне підвищення (для сталі 20 в 4,7, сталі 45 в 5,3 рази) зносостійкості в 3 %-му розчині хлориду натрію за 3 год випробовувань на МСВ, що пояснюється підвищенням корозійної стійкості і підвищенням характеристик міцності поверхневих шарів.

Застосування розробленого методу низькотемпературного іонного азотування сталі 40X (рис. 3) дозволило підвищити кавітаційно-ерозійну зносостійкість порівняно з традиційним азотуванням в 1,15; 1,53; 1,65 і 1,84 рази в 3 %-му розчині хлориду натрію, сироватці, молоці і молочній кислоті відповідно. Застосування розробленого способу низькотемпературного іонно-плазмового азотування дозволяє, залежно

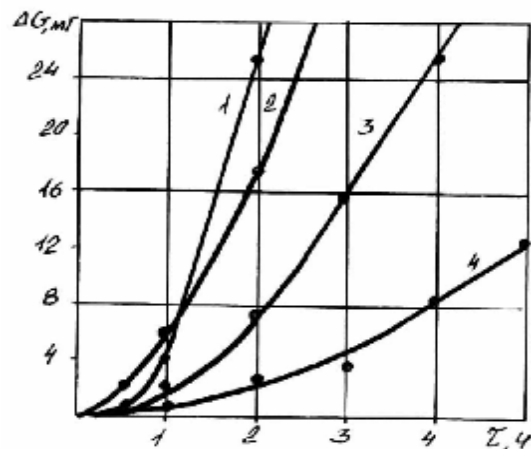


Рис. 2. Втрати маси сталей 20 (1) і 45 (2) після нормалізації і (3, 4) після іонного азотування (3 %-й розчин хлориду натрію)

від режиму азотування і виду середовища, підвищити кавітаційну стійкість від 10 до 32 % у порівнянні з відомими режимами азотування.

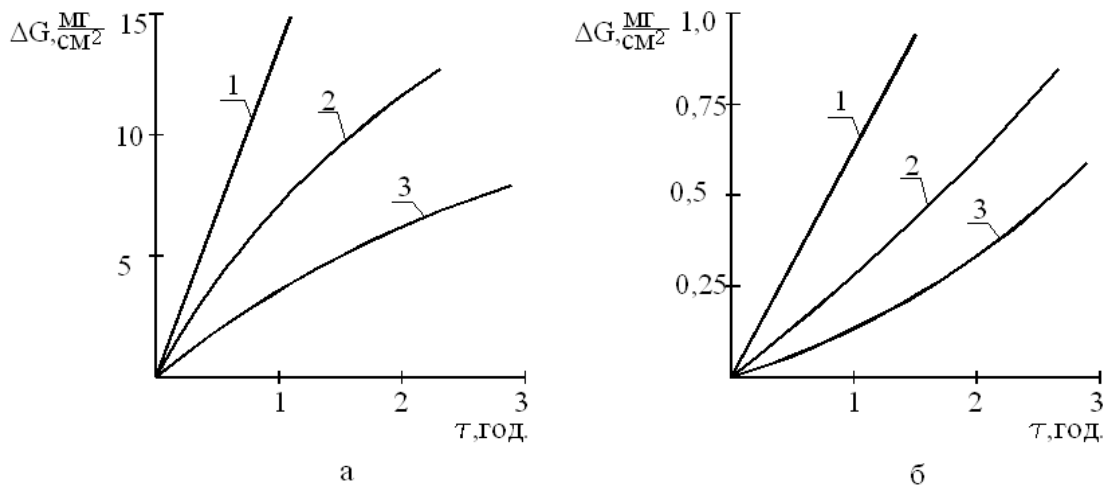


Рис. 3. Втрати маси сталі 40X при кавітації: а – сироватка; б – молоко: 1 – нормалізація; 2 – азотування; 3 – низькотемпературне азотування

Висновки. 1. Підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості розробленим способом низькотемпературного іонно-плазмового азотування сталей 45 і 40X досягається внаслідок підвищення корозійної стійкості, зменшення пористості ε -фази та внутрішніх напружень нітридної зони покриття.

2. Виявлені закономірності формування фазового складу покриття, співвідношення між ними залежно від режимів азотування дозволяють не лише прогнозувати кавітаційну стійкість зміцнених конструкційних сталей, але і закладати довговічність роботи деталей на стадії їх проектування.

Література

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Структура и прочность азотированных сплавов. – М.; Металлургия, 1982. – 176 с.
2. Каплун В.Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах: автореф. дис. на соискание научной степени доктора технических наук. – К., 1991. – 40 с.
3. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков, Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт", 2006. – 364 с.
4. Сухенко Ю.Г. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. / Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. – К.: Елерон. – 1993. – 108 с.
5. Стечишин М.С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Хмельницький, 1998. – 32 с.
6. Рудык А.Е. Повышение долговечности деталей узлов трения технологического оборудования сахарных заводов: автореф. дис. на соискание научной степени доктора технических наук. – К., 1986. – 17 с.
7. Прейс Г.А., Новицкий А.Е. О коррозионно-механическом изнашивании металлов // Проблемы трения и изнашивания. Респ. Межвед. науч. – техн. сб. – 1981. – Вып. 22. – С. 3-8.
8. Стечишин М.С., Мартинюк А.В. Кавітаційно-ерозійна стійкість полімерних матеріалів в корозійно-активних середовищах // Вісник ХНУ. Технічні науки: Хмельницький – 2009. – № 2. – С. 69-74.

Надійшла 14.5.2010 р.