

ОСОБЛИВОСТІ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ ОТВОРІВ З ВІДНОСНО МАЛИМ ДІАМЕТРОМ

Наведені результати попередніх експериментів по азотуванню в тліючому розряді отворів з відносно малим діаметром.

Ключові слова: отвори, відносно малий діаметр, азотування, тліючий розряд, нестационарне живлення.

I. M. PASTUKH, V. V. LUKHOVEC, V. S. KURSKOY

Khmelnitsky National University

THE BASICS OF NITRATION WITH VARIABLE FEED GLOW DISCHARGE FOR OPENINGS WITH RELATIVELY SMALL DIAMETERS

Abstract – What follows are the results for the preliminary nitration with variable feed glow discharge experiments for openings with relatively small diameters. It has been established that using the aforementioned glow discharge changes the characteristics of the metal's surface layer in deep openings

Keywords: nitration, glow discharge, openings, relatively small diameters.

Вступ

Актуальність поставленої задачі безсумнівна, якщо навести декілька прикладів з практичного застосування об'єктів модифікації металевої поверхні. Практично всі кінематичні пари тертя з поступальним рухом, причому неважливо циліндричної вони форми чи довільної, конструктивно підпадають під категорію отворів з відносно малим діаметром, тобто відношення довжини (глибини) отвору до його діаметрального розміру перевищує значення чотирьох. Цей показник, прийнятий в якості критерію геометричних співвідношень, обґрунтовується тим, що, як відомо, процес азотування подібних конструктивних елементів аналогічний за своєю природою розряду з пустотілим катодом. З теорії цього процесу відомо, що реально поле проникає всередину отворів на глибину не більше двох діаметральних розмірів (якщо отвори – не круглі, то двох менших діаметральних розмірів) [1]. При цьому слід врахувати ту обставину, що цей показник відноситься до межі поля, де напруженість складає всього 0,02 (біля двох процентів) від номінального значення на торці отвору. Числовий критерій віднесення об'єктів азотування до категорії отворів з відносно малим діаметром в кількості чотирьох діаметрів стосується конструкцій, в яких отвори наскрізні. Для глухих заглиблень або отворів значення критерію може бути зменшене до двох. Продовжуючи наведення прикладів досліджуваних в цій роботі конструкцій, можна відзначити плунжерні пари паливних насосів дизельних двигунів внутрішнього згорання, матеріальні циліндри термопластавтоматів тощо. Модифікація внутрішньої поверхні зі збільшенням зносостійкості особливо актуальна для матеріальних циліндрів термопластавтоматів, які переробляють полімери з абразивними наповнювачами, наприклад – склонаповнені пластмаси.

Спроби азотувати подібні конструктивні елементи в тліючому розряді з постійним живленням тільки підтверджують теоретичні висновки, які наведені вище, стосовно розповсюдження розряду в отворах відносно малого діаметра – внутрішні поверхні отворів біля торців азотуються з прийнятною якістю, далі в міру збільшення відстані від торця отвору результати азотування все менш помітніші. Деякого покращення наслідків модифікації можливо досягти шляхом збільшення тривалості процесу, тобто проявляється ефект випадкового пічного азотування, але при цьому нівелюється головна перевага азотування в тліючому розряді – суттєве зменшення (більше, ніж на порядок) тривалості обробки. Таким чином, поставлена в роботі задача має, насамперед, практичне значення, оскільки існує безліч варіантів її реального виробничого застосування. При цьому слід врахувати ту обставину, що аналогічний процес практично не досліджувався, за винятком чисто технологічних аспектів [2].

Попереднім теоретичним обґрунтуванням можливості азотування внутрішніх поверхонь отворів з відносно малим діаметром може служити теза стосовно накачування іонів азоту у внутрішню порожнину отвору за рахунок ефекту їх руху по інерції в момент зміни напруги розряду аж до повного зникнення її у випадку циклічно-комутованого розряду. Оскільки іони у відсутності електричного поля будуть продовжувати рухатись по дотичній до траєкторії, яка мала місце в момент переривання розряду, то з'являється можливість досягнення ними області порожнини отвору, де поле практично вже не діє. Особливо таке явище має місце для іонів, які влітають в отвір в околі його центру. В цьому випадку траєкторія їхнього руху суттєво випрямляється, ймовірність сутічки іонів зі стінками отвору зменшується, вони пролітають шлях значно довший, ніж це мало би місце у випадку безперервного живлення. Таким чином створюється надлишкова концентрація іонів азоту, які далі дрейфують в глибину отвору, підпорядковуючись законам дифузії. Оскільки іони азоту є головним фактором утворення нітридів, то процес азотування внутрішньої поверхні теоретично повинен проходити із швидкістю, яка практично відповідає умовам обробки відкритих поверхонь.

Експериментальні дослідження

Експериментальні дослідження проводились на моделі, загальний вигляд якої представлено на



Рис. 1. Експериментальна модель для азотування

рисунок 1. Модель представляє собою пустотілий циліндр, в якому на різних відстанях від торця просвердлена серія радіальних отворів. В ці отвори вставляються взірці, виготовлені з різних сталей. Таким чином, кожний взірець азотується з двох торців, що дає можливість по-перше, азотувати із зовні та з середини моделі при практично однаковій температурі, по-друге, порівнювати результати азотування двох поверхонь, при цьому різниця в умовах полягає тільки в розташуванні цих поверхонь – зовнішнє чи внутрішнє. Всі інші фактори, які могли б впливати на результати модифікації практично ідентичні. Наявність серії радіальних отворів створює можливість одночасного азотування взірців, виготовлених з різних сталей при однакових параметрах технологічного процесу, що суттєво прискорює експериментальні дослідження. Повна довжина моделі 400 мм, діаметр отвору 40 мм. Таким чином найбільший коефіцієнт відношення довжини отвору до його діаметра склав 10. Азотування проводилось на установці для безводного азотування УАТР-1 з діаметром розрядної камери 400 мм, робочою висотою 700 мм. В якості газового середовища використовувалась азотно-аргонова суміш із співвідношенням компонентів по об'єму 75% азоту і 25% аргону. Взірці встановлювались в радіальні отвори і утримувались там за рахунок певного натягу. Цим досягалась не тільки утримування взірців в отворах, але і також відсутність горіння в околі торців взірців при живленні розряду постійним струмом. Небезпека цього явища цілком реальна, оскільки спостерігається вже при зазорах порядку 0,5 мм. В той же час використання подібного методу фіксації взірців значно спрощує конструкцію моделі, виключивши з неї пристрої типу гвинтових затискачів, цанг і т. п. Параметри технологічного режиму представлені в таблиці 1. В режимі 1 використовувався циклічно-комутований розряд, в

режимах 2 і 3 – постійне живлення.

Таблиця 1

Технологічні параметри азотування

Номер режиму	Температура, градуси С	Напруга, В	Тиск в камері, тор	Тривалість, години	Особливості режиму
1	560	730	1,2	6	Циклічно-комутований розряд
2	560	730	1,2	6	Модель відкрита з 2-х сторін
3	560	730	1,2	6	Один торець закритий

Обробка результатів азотування насамперед передбачала вимірювання поверхневої мікротвердості на мікротвердомірі ПМТ-3. При цьому досліджувалась поверхнева мікротвердість не тільки на торцях взірців, але по глибині модифікованого шару. Для цього виготовлялись за стандартною методикою мікрошліфи. Заміри мікротвердості виконувались на відстані від поверхні 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 600, 1000 мкм.

Порівняння абсолютних значень поверхневої мікротвердості не зовсім коректне, особливо якщо врахувати постановочний характер експериментів. Причиною подібного висновку є те, що дані поверхневої мікротвердості у значній мірі залежать від властивостей точки поверхні, в якій ці вимірювання проводились, наприклад – наявність в ній карбідів, зерен, їх границь тощо. З цієї причини прийнято в якості відправної точки для аналізу принцип порівнювання відносних значень поверхневої мікротвердості. На рис. 2 показана зміна відношень мікротвердості по глибині модифікованого шару відповідно зі сторони зовнішніх торців до аналогічного показника, виміряного на тій же глибині, але з внутрішньої сторони для варіанту режиму 3, на рис. 3 – аналогічні показники для режиму 1. При цьому розташування графіків на вертикальній шкалі відповідає віддаленості взірців від торця моделі.

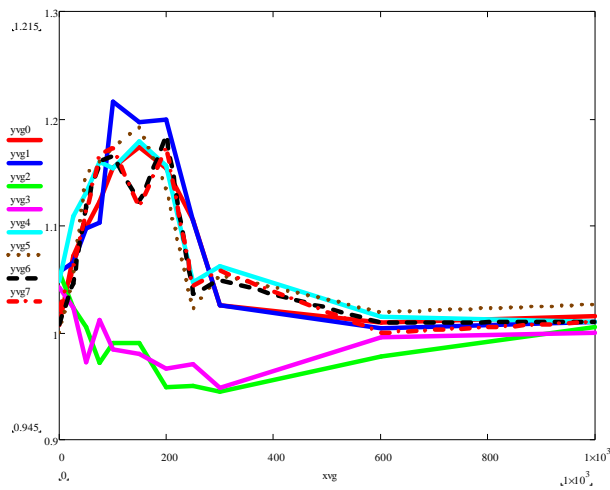


Рис. 2. Розподіл відношення мікротвердості (зовнішня сторона до внутрішньої) по глибині модифікованого шару для режиму 3

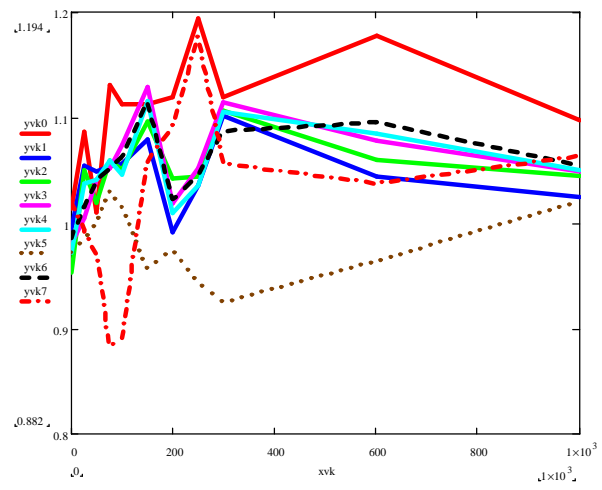


Рис. 3. Розподіл відношення мікротвердості (зовнішня сторона до внутрішньої) по глибині модифікованого шару для режиму 1

Порівняння рисунків 2 і 3 насамперед свідчать про принципово різні результати азотування, оскільки в режимі 3 коефіцієнт відношення мікротвердості суттєво більший (в деяких випадках перевищує 1,2). Крім того характер розподілу відношень по глибині азотованого шару різний, оскільки в режимі 3 на відносно невеликій глибині значення мікротвердості практично зрівнюються, тоді як в режимі 1 нерівномірність зберігається до великих глибин.

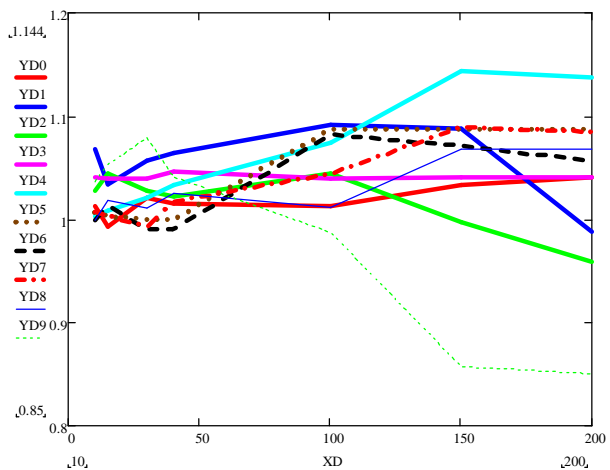


Рис. 4. Розподіл відношення мікротвердості (зовнішня сторона до внутрішньої) залежно від відстані від торця для режиму 2

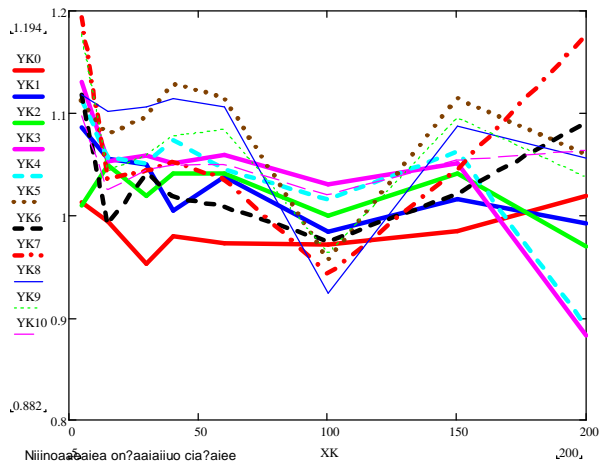


Рис. 5. Розподіл відношення мікротвердості (зовнішня сторона до внутрішньої) залежно від відстані від торця для режиму 1

На рис 4 і 5 відповідно представлені графіки відношень мікротвердості із зовнішньої сторони до аналогічного показника з внутрішньої в залежності від відстані досліджуваного перетину до відкритого торця моделі відповідно для режимів 2 і 1. З рисунків слідує, що перевищення показника відношення для режиму 2 зі збільшенням відстані від торця зростає, а для режиму 1 (як середня величина всіх графіків) залишається незмінною в околі одиниці.

Ще більш наглядним з точки зору вибору режиму азотування є порівняння значень мікротвердості по глибині модифікованого шару до аналогічного показника на торці зрізця (очевидно, що тільки в плані принципових рішень, а не конкретних значень параметрів технологічного режиму, хоча б тому, що в певній мірі показники відношень для режимів з постійним живленням і циклічно-комутованого складно порівнювати, бо тривалість процесу була однаковою, в той же час для циклічно-комутованого живлення реально розряд протікає при коефіцієнті шпаруватості 2 тільки половину цього часу). Цей показник більш об'єктивно відображає реалії, оскільки точність та локація виміру в меншій мірі впливають на достовірність аналізу. На рис. 6 показана зміна середнього значення співвідношення мікротвердості на певній глибині азотованого шару до аналогічного показника на торці зрізця для режиму 1 (суцільна лінія – внутрішня сторона, штрихова – зовнішня), аналогічно – на рис. 7 – для режиму 2, на рис. 8 – для режиму 3, а на рис. 9 – порівняння середніх значень зовнішньої та внутрішньої сторін для всіх трьох режимів. З рис. 6-8 слідує, що характер залежності співвідношень суттєво різний для певних режимів. В усіх варіантах технології спостерігається відмінність значень для внутрішньої та зовнішньої сторін.

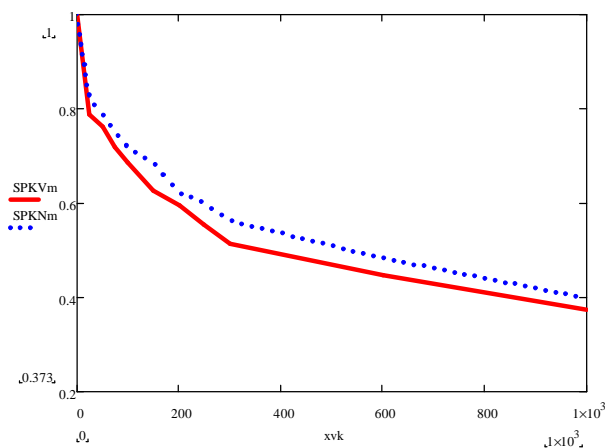


Рис. 6. Відношення мікротвердості на глибині модифікованого шару до мікротвердості на торці для режиму 1

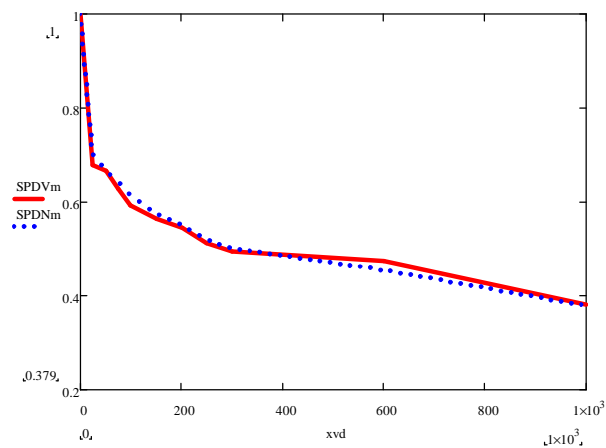


Рис. 7. Відношення мікротвердості на глибині модифікованого шару до мікротвердості на торці для режиму 2

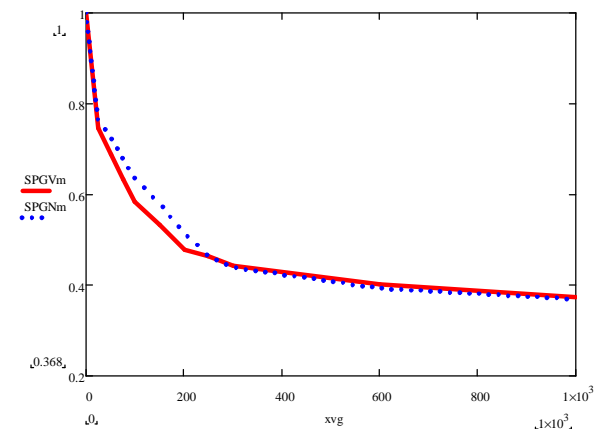


Рис. 8. Відношення мікротвердості на глибині модифікованого шару до мікротвердості на торці для режиму 3

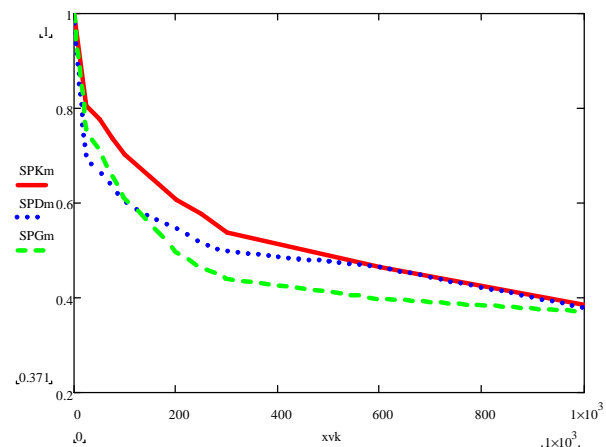


Рис. 9. Порівняння відношень мікротвердості на глибині модифікованого шару до мікротвердості на торці (верхня крива – режим 1, нижня – режим 3)

В режимі 1 (рис. 9) розподіл мікротвердості кращий (верхня крива) оскільки мікротвердість по глибині шару зменшується більш плавно порівняно з іншими режимами. Очевидним висновком з рис. 6-9 є той, що змінюючи технологію можна забезпечити необхідну якість азотування отворів з відносно малим діаметром. При цьому найбільш перспективним слід вважати застосування циклічно-кутового розряду.

Висновок

Встановлено, що використання для азотування отворів з відносно малим діаметром тліючого розряду з різним характером живлення створює умови для отримання модифікованих шарів з варіативними характеристиками.

Література

1. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Б. И. Москалев. – М. : Энергия, 1969. – 184 с.
2. Kwon S. C., Lee G. H., Yoo M. C. A comparative study between pulsed and D. C. ion nitriding behavior in specimens with blind holes // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 77–81.

References

1. Moskalev B. I. Rozrjad s polym katodom Moskva / Energia, 1969. – 184 p.
2. Kwon S. C., Lee G. H., Yoo M. C. A comparative study between pulsed and D. C. ion nitriding behavior in specimens with blind holes // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 77–81.

Рецензія/Peer review : 15.3.2013 р.

Надрукована/Printed : 22.4.2013 р.