

дані про відмови машин, а й дані про те, що машина за деякий період часу не була доведена до стану відмови. В ході використання різноманітних імовірнісних методів, точність одержуваного прогнозу може бути істотно підвищена при врахуванні навіть такої неповної інформації про напрацювання машини до відмови.

Аналіз показує, що одним з найбільш переважних методів відновлення емпіричної функції закону розподілу напрацювань до відмов, є множинний метод. Він дозволяє при інтервальній оцінці, достатньо повно враховувати як інформацію про відмови об'єктів, які випробовуються, так і інформацію про відсутність відмов. Отримані з його допомогою емпіричні значення функції розподілу напрацювань до відмов, можуть надалі бути апроксимовані теоретичним законом, параметри якого визначаються будь-яким з відомих методів, наприклад - методом найменших квадратів.

Таким чином, найбільш повне урахування інформації про скорочені випробування, та об'єднання інформації про випробування модернізованих елементів конструкцій з їхніми аналогами-попередниками, дозволяє істотно прискорити отримання даних про міцність і надійність створюваної техніки.

#### **Список використаних джерел**

1. Міцність та надійність машин /В.Я. Анілович, О.С. Гринченко, В.В.Карабін та ін.; За ред. В.Я. Аніловича. – К. Урожай, 1996. – 288с.
2. Надійність машин: практикум. / О.С. Гринченко, В.Г. Кухтов, О.І. Алфьоров та ін. – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2018. – 140 с.
3. Гринченко, А. С. Прогнозирование механической надежности на основе стохастического моделирования деградационных процессов / А. С. Гринченко, А. И. Алферов, А. И. Бойко // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – Харків, 2014. – Вип. 151: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського вир-ва. – С. 33-39.
4. Савченко В.Б. Забезпечення надійності сільськогосподарських машин і технологічних комплексів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Харків, 2001. 18 с.

**УДК 620.193.16**

### **КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ АЗОТУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГОМІРНИХ ОТВОРІВ**

**Стечишин М.С. д.т.н., професор, Мартинюк А.В. к.т.н., доцент,  
Здоренко Д.В. здобувач ВО**

*Хмельницький національний університет*

*В роботі розроблено методику контролю якості азотування внутрішніх поверхонь довгомірних отворів азотованих в тліючому розряді.*

Практично всі кінематичні пари тертя з поступальним рухом конструктивно підпадають під категорію отворів з відносно малим діаметром,

тобто відношення довжини (глибини) отвору до його діаметрального розміру перевищує значення чотирьох [1]. 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 [2]. 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). 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.

Практичне значення вирішення поставленої задачі надзвичайно велике, оскільки в машинобудуванні практично всіх напрямків використовується безліч деталей з отворами відносно малого діаметра, внутрішня поверхня яких є робочою і зносостійкістю якої має принципове значення для підвищення ресурсу продукції, її працездатності та терміну нормальної роботи. Прикладами таких деталей можуть служити внутрішні поверхні пневмо- та гідроциліндрів, внутрішні поверхні матеріальних циліндрів термопластавтоматів, внутрішні поверхні плунжерних насосів паливної апаратури двигунів тощо.

Застосовуються різні технології модифікації внутрішніх поверхонь подібних пар: цементация, пічне азотування, газове хромування тощо. Та усі вони мають ряд недоліків; крихкість поверхневих шарів, велика тривалість процесу насичення при пічному азотуванні (96 год), зміна розмірів і необхідність подальшої чистової обробки при цементации.

Всі зазначені недоліки відсутні при використанні технологічного процесу азотування в тліючому розряді. Деталь до модифікації обробляється в чистових розмірах, що суттєво відзначається на собівартості виготовлення деталей. Процес на порядок менш тривалий в порівнянні з пічним, а при застосуванні безводневих середовищ не тільки стає можливим забезпечення всіх вимог екологічної безпеки, але і знижуються показники крихкості [2].

Проте азотування в тліючому розряді при постійному струмові живлення не забезпечує обробку внутрішньої поверхні рівномірно по всій глибині, а при значних відношеннях довжини до діаметра внутрішня поверхня отвору віддалена від торців практично не азотується [2]. Тому розроблена технологія процесу безводневого азотування в тліючому розряді (БАТР) з циклічно-комутованим живленням [3].

Для перевірки якості азотування внутрішніх поверхонь довгомірних отворів створено пристрій, який являє собою пустотілий циліндр в якому на різних відстанях від торця просвердлена серія радіальних отворів. В ці отвори вставляються зразки, виготовлені з різних сталей. Таким чином, кожний зразок 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 складав 10 (рис. 1).

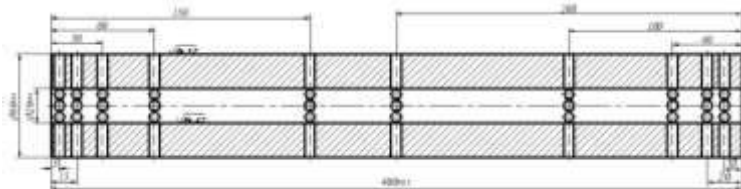


Рис. 1. Ескіз моделі



Рис. 2. Ескіз зразка

Азотування проводилось на установці для безводневого азотування УАТР-1. В якості газового середовища використовувалась азотно-аргонова суміш із співвідношенням компонентів по об'єму 75% азоту і 25% аргону. Зразки встановлювались в радіальні отвори і утримувались там за рахунок певного натягу (рис. 2). Цим досягалась не тільки утримання зразків в отворах, але і також відсутність горіння біля торців зразків особливо при живленні розрядом постійного струму. Поява цього явища є цілком реальною, оскільки спостерігається вже при зазорах порядку 0,5 мм. В той же час використання подібного методу фіксації зразків значно спрощує конструкцію моделі, виключивши з неї пристрої типу гвинтових затискачів, цанг і т. д.

Таблиця 1 – Технологічні параметри азотування

Номер режиму	Температура, К	Напруга, В	Тиск камері, Па	Тривалість, години	Особливості режиму
1	833	730	160	6	Модель відкрита з двох сторін. Циклічно-комутований розряд
2	833	730	160	6	Модель відкрита з двох сторін. Постійний струм.

Параметри технологічного режиму представлені в таблиці 1. В режимі 1 використовувався циклічно-комутований розряд, а в режимі 2 – постійне живлення.

На рис. 3 показана зміна поверхневої мікротвердості модифікованого шару сталі 45 по висоті труби відповідно із сторони внутрішніх торців при різних режимах азотування.

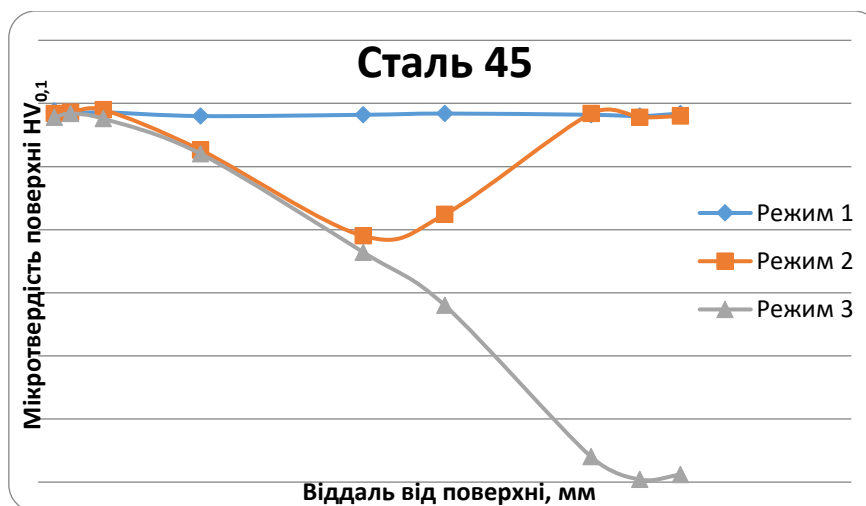


Рис. 3. Зміна поверхньої мікротвердості модифікованого шару сталі 45 по висоті труби відповідно із сторони внутрішніх торців при різних режимах азотування

Як видно із рис. 3, при азотуванні в ЦКР (режим 1) поверхнева мікротвердість по висоті труби модифікованого шару сталі 45 відповідно зі сторони внутрішніх торців залишається постійною, а при азотуванні постійним струмом вона знижується і сягає мінімуму для зразків розміщених по центру труби (режим 2).

#### Список використаних джерел

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х.: Нац. научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
2. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Б. И. Москалев. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.
3. M.S. Stechishyn, M.Ye. Skyba, A.V. Martynyuk\*, D.V. Zdorenko. Wear resistance of structural steels nitrided in a cyclically switched discharge with dry friction. *Problems of Tribology*, V. 28, No 1/107-2023, 20-24.