



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **156641** (13) **U**
(51) МПК
C23C 8/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2023 01842</p> <p>(22) Дата подання заявки: 19.04.2023</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 25.07.2024</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 24.07.2024, Бюл.№ 30</p>	<p>(72) Винахідник(и): Стечишин Мирослав Степанович (UA), Диха Олександр Володимирович (UA), Люховець Володимир Васильович (UA), Стечишина Надія Мирославівна (UA), Курський Володимир Сергійович (UA), Здоренко Денис Вікторович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</p>
---	---

(54) СПОСІБ БЕЗВОДНЕВОГО АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ ДОВГОМІРНИХ ОТВОРІВ

(57) Реферат:

Спосіб безводневого азотування в тліючому розряді довгомірних отворів включає безводневе азотування в тліючому розряді в середовищі 75 % азоту і 25 % аргону при тиску газової суміші 160 Па, напрузі 760 В і температурі 833 К. Азотування проводять в циклічно-комутованому розряді з прямокутною формою циклу.

UA 156641 U

Корисна модель належить до галузі металознавства та хіміко-термічної обробки металів і може бути використана для підвищення поверхневої міцності, твердості, зносостійкості, корозійної стійкості деталей машин.

Практично всі кінематичні пари тертя з поступальним рухом, причому неважливо 5
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 [1]. Цей показник, прийнятий як критерій геометричних співвідношень, обґрунтовується тим, що, як відомо, процес азотування подібних конструктивних елементів аналогічний за своєю природою розряду з пустотілим катодом [2]. З теорії цього 10
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. Продовжуючи 15
наведення прикладів досліджуваних в цій роботі конструкцій, можна відзначити плунжерні пари паливних насосів дизельних двигунів внутрішнього згорання, матеріальні циліндри термoplastавтоматів тощо. Модифікація внутрішньої поверхні зі збільшенням зносостійкості особливо актуальна для матеріальних циліндрів термoplastавтоматів, які переробляють полімери з абразивними наповнювачами, наприклад - склонаповнені пластмаси.

Отворами відносно малого діаметра в деталях слід вважати наскрізні або глухі отвори, 20
відношення довжини яких до діаметра більше 2-4.

Обґрунтування цих меж (менше значення - для не наскрізних) полягає в тому, що як це встановлено в [1] на глибині отвору порядку двох діаметрів напруженість поля електричного розряду становить всього 0,02 % від напруженості на торці отвору. З врахуванням цього 25
показника реально можна вважати отворами відносно малого діаметра наскрізні отвори, відношення довжини яких до діаметра більше трьох, для не наскрізних - 1,5.

Практичне значення вирішення поставленої задачі надзвичайно велике, оскільки в машинобудуванні практично всіх напрямків використовується безліч деталей з отворами 30
відносно малого діаметра, внутрішня поверхня яких є робочою і зносостійкість 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 термoplastавтоматів, внутрішні поверхні плунжерних насосів паливної апаратури двигунів тощо.

Застосовуються різні технології модифікації внутрішніх поверхонь подібних пар. Найчастіше 35
використовують цементацію, але її головним недоліком є формозмінність деталей, що вимагає додаткової чистової обробки внутрішніх поверхонь отворів. При цьому зростає трудомісткість виготовлення деталей та їх вартість.

Модифікація вказаних поверхонь можлива з використанням пічного азотування, проте цей технологічний процес надзвичайно тривалий (до 96 годин), ресурсозатратний, в плані 40
організації виробництва бажана наявність деталей на повне завантаження печей, що не завжди прийнятно, особливо для індивідуального або малосерійного виробництва. Ще одна небажана особливість процесу пічного азотування полягає у використанні як робочого агенту аміаку. Відомо, що азотування в аміачних газових середовищах хоча і забезпечує більшу твердість оброблюваної поверхні, але і обумовлює її більшу крихкість. Крім того, при певних режимах 45
пічного азотування спостерігається утворення тріщин у зв'язку з наявністю значних напружень в поверхневому шарі.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є безводне азотування в тліючому розряді з постійним живленням в середовищі 75 % азоту і 25 %) аргону при тиску газової суміші 160 Па, напрузі 760 В і температурі 833 К. При використанні даного технологічного процесу азотування в тліючому розряді зазначені вище недоліки відсутні. Деталь до модифікації 50
обробляється в чистових розмірах, тобто додаткова наступна після модифікації механічна обробка стає зайвою, що принципово 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 суттєво 55
знижуються показники крихкості [1].

Проте азотування в тліючому розряді при звичайних умовах живлення (постійний струм 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 [1].

В основу корисної моделі поставлено задачу аналізу умов, при яких вказаний вище недолік може бути нівельовано аж до забезпечення можливості азотування внутрішніх поверхонь отворів відносно малого діаметра.

5 Поставлена задача вирішується тим, що спосіб безводневого азотування в тліючому розряді довгомірних отворів, що включає безводневе азотування в тліючому розряді в середовищі 75 % азоту і 25 % аргону при тиску газової суміші 160 Па, напрузі 760 В і температурі 833 К, згідно із корисною моделлю, азотування проводять в циклічно-комутованому розряді (ЦКР) з прямокутною формою циклу.

10 Відносно ефективності процесу азотування у тліючому розряді (АТР) загальноприйнятим є положення, згідно з яким його ефективність значною мірою визначається наявністю в околі оброблюваної поверхні іонізованих атомарних чи молекулярних частинок азоту [2].

15 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 зіткнення 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.

25 Приклади використання способу.

Приклад 1.

Експериментальні дослідження проводились на моделі, що являє 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.

35 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. Азотування зразків із сталі 45 проводилось на установці для безводневого азотування УАТР-1. Як газове середовище 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 утримання взірців в отворах, але і також відсутність горіння в околі торців взірців при живленні розряду постійним струмом.

45 Параметри технологічного режиму представлені в таблиці. В режимі 1 використовувався циклічно-комутований розряд, в режимах 2 і 3 - постійне живлення.

Таблиця

Технологічні параметри азотування

Номер режиму	Температура, К	Напруга, В	Тиск в 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
3	833	730	160	6	Один торець закритий. Постійний струм

Обробка результатів азотування насамперед передбачала вимірювання поверхневої мікротвердості на мікротвердомірі ПМТ-3. При цьому досліджувалась поверхнева мікротвердість не тільки на торцях зрізків, 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.

На фіг. 1 показана зміна поверхневої мікротвердості модифікованого шару сталі 45 по висоті труби відповідно зі сторони внутрішніх торців при різних режимах азотування. Зміна мікротвердості по глибині азотованого отвору в трубі залежно від режиму зміцнення.

Як видно із фіг. 1, 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). Для режиму 3 (глухий отвір) поверхнева мікротвердість постійно знижується і для верхнього зразка досягає вихідної величини. Отримані рентгенограми підтверджують цей висновок.

Експериментальні дослідження зразків на зносостійкість проводились на універсальній машині для випробування матеріалів на тертя моделі 2168УМТ. Матеріал контртіла - сталь ШХ15 із твердістю основи HRC61; тиск у зоні контакту $P=16$ МПа; швидкість ковзання $v=0,1$ м/с; контрольований параметр - лінійний знос h , що визначався як зміна у результаті проходження ділянки довжиною l лінійного розміру зрізця, виміряного по нормалі до поверхні тертя. Випробування проводили в режимі сухого тертя, яке характерне для багатьох деталей сільгоспмашин.

Результати трибологічних випробувань показали (фіг. 2), що азотування в ЦКР є досить ефективним способом зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних отворів. Зносостійкість азотованих за режимом 1 і за режимом 2 зразків сталі 45 залежно від висоти їх розміщення в трубі.

Приклад 2.

На фіг. 3 показана зміна поверхневої мікротвердості модифікованого шару сталі 40Х по висоті труби відповідно зі сторони внутрішніх торців при різних режимах азотування. Зміна мікротвердості по глибині азотованого отвору в трубі залежно від режиму зміцнення.

Як видно із фіг. 3, при азотуванні в ЦКР (режим 1) поверхнева мікротвердість по висоті труби модифікованого шару сталі 40Х 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). Для режиму 3 (глухий отвір) поверхнева мікротвердість постійно знижується і для верхнього зразка досягає вихідної величини. Отримані рентгенограми підтверджують цей висновок.

Результати випробувань на тертя сталі 40Х азотованої при циклічно-комутованому розряді представлені на фіг. 4 де представлено зносостійкість азотованих за режимом 1 зразків із сталі 40Х залежно від висоти їх розміщення в трубі.

Результати трибологічних випробувань показали (фіг. 4), що азотування в ЦКР є досить ефективним способом зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних отворів.

Результати тертя сталі 40Х при циклічно-комутованому розряді представлені на фіг. 1 де представлено зносостійкість азотованих за режимом 1 сталі 40Х залежно від висоти їх розміщення в трубі.

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

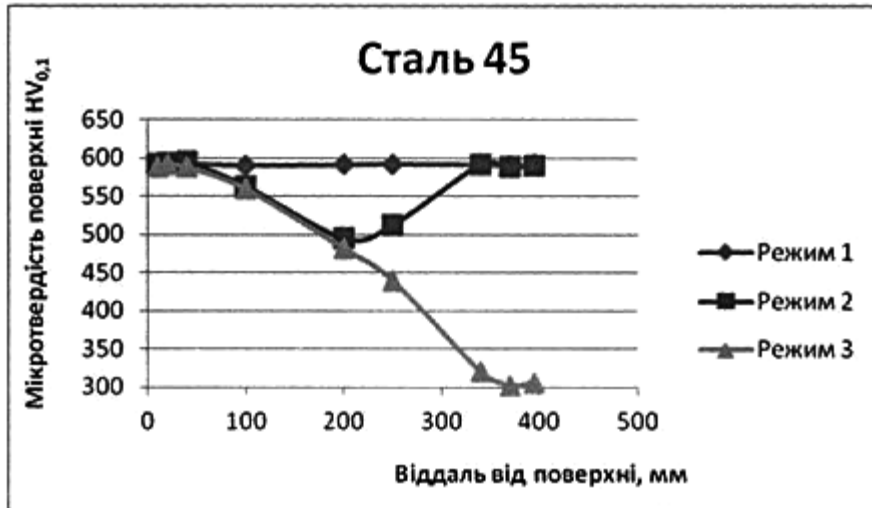
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Б. И. Москалев. - М. : Энергия, 1969.- 184 с.

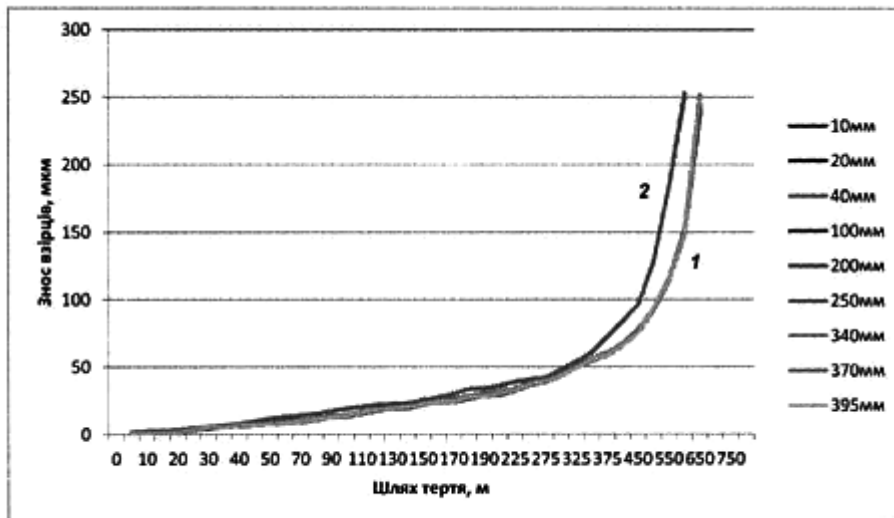
2. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. - Х.: Нац. научный центр "Харьковский физико-технический институт", 2006. - 364 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

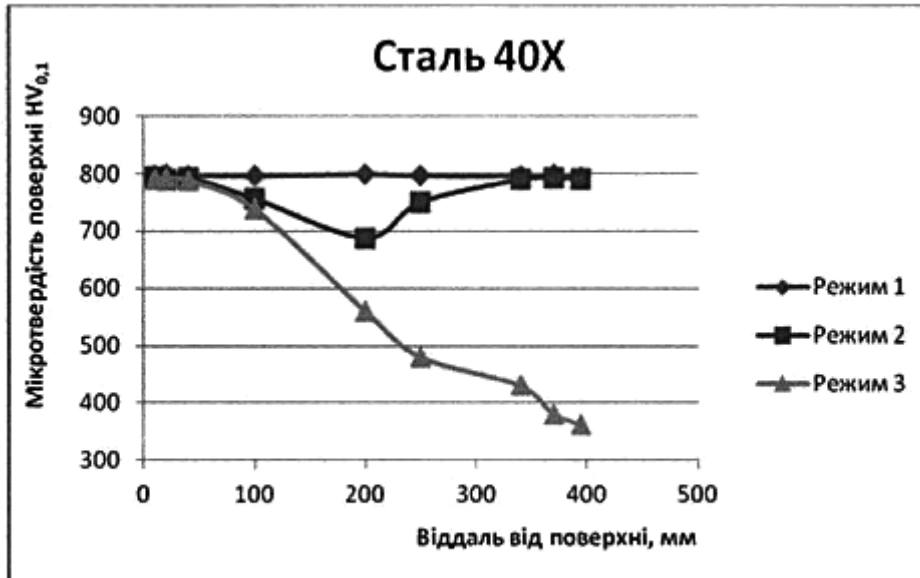
Спосіб безводневого азотування в тліючому розряді довгомірних отворів, що включає безводневе азотування в тліючому розряді в середовищі 75 % азоту і 25 % аргону при тиску газової суміші 160 Па, напрузі 760 В і температурі 833 К, який **відрізняється** тим, що азотування проводять в циклічно-комутованому розряді з прямокутною формою циклу.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4