

УДК 621.793.6

А.Ю. НЕЖВЕДІЛОВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТА МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ СТАЛЕВИХ ЛОПАТОК ВАКУУМНИМ ТЕРМОЦИКЛІЧНИМ АЗОТУВАННЯМ У ПЛАЗМІ ПУЛЬСУЮЧОГО ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ

У статті розроблена технологічна база для формування зміцненого поверхневого шару вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду на основі автоматизованої системи контролю та управління. Розроблена функціональна схема автоматизованої системи контролю, а також визначені основні її параметри. Розроблен алгоритм технологічного процесу, який дозволяє контролювати та змінювати режими та технологічні параметри процесу дифузійного насичення на початковому етапі. Розроблена установка, яка дає можливість отримати пульсуючий тліючий розряд.

Ключові слова: дифузійний шар, азотування, алгоритм, цикл, насичення, імпульс.

Вступ

Неадитивний вплив експлуатаційних факторів на сталеві лопатки компресора АГТД представляє собою складний процес, який залежить від величини цих факторів. У зв'язку з цим доцільно досліджувати конструктивні матеріали зі зміцненим поверхневим шаром в умовах одночасної дії факторів від мінімального до максимального їх значення. При вирішенні таких складних задач, для скорочення об'єму необхідних експериментальних робіт та отримання максимальної інформації з проведених досліджень, слід використовувати методи математичного планування експерименту. Метою статті є розробити діючий комплекс технологічного забезпечення процесу зміцнення поверхневих шарів деталей вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду (ВТАППТР).

Розробка технологічної бази

Відомо, що одним з найбільш перспективним методом низькотемпературного іонного азотування є обробка металевих матеріалів у плазмі тліючого розряду, палаючого в середовищі азоту, іноді з додаванням вуглеводнів [1], зокрема, його вдосконалений варіант - газотермоцикліческое іонне азотування в переривистому режимі [2]. Формування зміцнених поверхневих шарів вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду здійснювалося за допомогою установки ВПА-1, загальний вигляд якої наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд установки ВПА-1

Основні технічні дані ВПА-1 наведені у табл. 1.

Для забезпечення процесу за заданими режимами у залежності від необхідної структури та товщини дифузійного шару, здійснення автоматичного контролю параметрів технологічного процесу, підвищення безпеки робіт та відтворюваності результатів поверхневого зміцнення, на технологічній базі Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України під керівництвом доктора технічних наук, професора Ляшенка Б.А. створено діючий комплекс технологічного забезпечення процесу зміцнення поверхневих шарів деталей ВТАППТР на основі автоматизованої системи контролю та управління (АСКУ) (рис. 2).

Основні технічні дані установки ВПА-1

Найменування основних параметрів і характеристик	Значення параметрів і характеристик
Розміри робочої камери: діаметр висота, мм	600 1200
Розміри деталей, що обробляються: діаметр, мм довжина, мм	до 500 до 700
Максимальна маса садки, кг	400
Тривалість циклу зміцнення деталі, год.	0,5 ... 24
Температура азотування, °С	300...900
Товщина азотованого шару, мм	до 0,8
Максимальна витрата робочого газу, л/год.	30
Споживча потужність, кВт	20
Напруга мережі, В	220
Витрата води для охолодження, м ³	2
Маса установки, кг	650
Площа, яку займає установка, м ²	6

До основних параметрів автоматизованої системи контролю та управління технологічним процесом відносяться:

1. Система вимірювання та регулювання температури.

а) пірометр часткового випромінювання типу "Смотрич 1-1-03":

- діапазон вимірювання температури – 300...700, °С;
- межа припустимого значення похибки, – 1%;
- час встановлення показань – 0,025, с;
- споживча потужність – 25, Вт.

б) вимірювальний та регулюючий прилад типу РТЭ-4.1-12-220:

- межа припустимої приведеної похибки – 0,25, %;
- максимальний струм комутації – 2, А;
- кількість аналогових входів – 1, шт.;
- кількість дискретних виходів – 2, шт.;
- споживча потужність – 5, Вт.

2. Система електроживлення:

- діапазон задавання вихідної напруги – 0...1000, В;
- дискретність задавання напруги – 1, В;
- похибка вимірювання напруги – 1, %;

3. Система вакуумування:

- тип реєструючого пристрою – РВЭ-4.1 (з манометричним перетворювачем ПМТ-6.3);
- діапазон вимірювання тиску – $10^{-1} \dots 10^5$, Па;
- максимальний струм комутації вихідних сигналів – 2, А;
- максимальна напруга комутації – 250, В;
- кількість вихідних дискретних сигналів – 2, шт.

АСКУ працює наступним чином. Після завантаження у вакуумну камеру (ВК) деталь оператор на ПЕОМ задає необхідне значення тиску газу у ВК. Через блок комутації (БК) з ПЕОМ команда поступає на блок управління системи вакуумування (БУСВ) і далі на електромагнітні клапани (КЭМ – 1, КЭМ – 2) та вакуумні насоси (ВН – пусковий та робочий). Ступінь вакуумування у ВК вимірюється за допомогою блоку вимірювання вакууму, інформація з якого поступає через БК на ПЕОМ. Після досягнення заданої величини вакуумування у ВК автоматично відключається пусковий ВН та включається робочий ВН. При цьому оператор задає на ПЕОМ робочу ступінь вакуумування у ВК. Управління подачею газу у ВК протягом усього процесу дифузійного насичення здійснюється через БК та блок забезпечення газом (БЗГ). Величину робочого тиску у камері в процесі азотування підтримують в залежності від площі, маси та конфігурації деталі, що обробляється.

Для забезпечення необхідних параметрів технологічного процесу ВТАППТР на ПЕОМ АСКУ задають швидкість зростання робочої напруги, що подається на електроди установки, та її максимальне значення. Через БК сигнал поступає на блок задавання та регулювання напруги (БЗРН) і далі через датчик короткого замикання (ДКЗ), на установку ВТАППТР. ДКЗ спрацьовує у разі переходу у ВК тліючого розряду у дуговий (поява мікродуг). Він подає сигнал на тиристорний регулятор напруги (що входить до складу БЗРН), і напруга на деталі знижується на величину, визначену цим регулятором (попередньо задану оператором з ПЕОМ через БК).

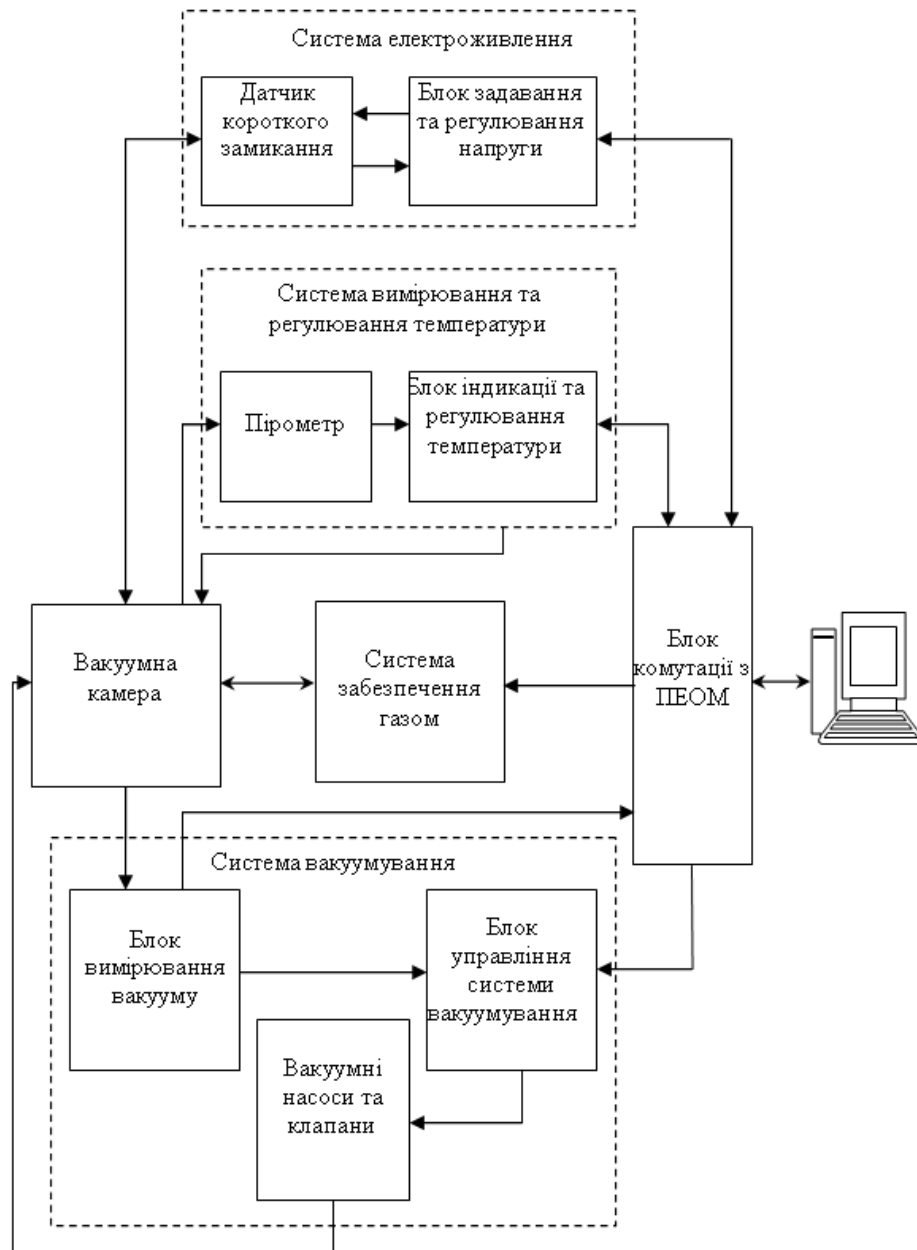


Рис. 2. Функціональна схема АСКУ технологічним процесом

Температурний режим процесу задають шляхом встановлення оператором (з ПЕОМ через БК) на блоці індикації та регулювання температури (БІРТ) верхнього та нижнього порогів температури. Інформація про поточну температуру деталі у ВК знімається пірометром системи вимірювання та регулювання температури і потрапляє до БІРТ. При досягненні заданої температури процесу азотування відбувається автоматичне зниження вихідної напруги та охолодження деталі до величини нижнього порогу температури. Потім вихідна напруга знову автоматично підвищується до досягнення верхнього порогу температури деталі. Таким чином, відбувається автоматичне регулювання процесу азотування: величини спрацювання регулятора напруги (верхнього

та нижнього порогів температури) можуть задаватися у межах $1 \dots 200^\circ\text{C}$, що дозволяє подавати на деталь пульсуючу напругу та отримувати пульсуючі термоцикли, що значно підвищує швидкість дифузійного насичення деталі азотом.

Час азотування залежить від матеріалу деталі, маси садки, необхідних товщини та фазового складу дифузійного шару.

Під час технологічного процесу ВТАПШР АСКУ виконує наступні функції програмного забезпечення:

- вимірювання температури за допомогою пірометра;
- обмін даними з електронним пристроєм установки;

- автоматичне управління температурою процесу за допомогою ПЕОМ;
- генерування повідомлень про критичний та аварійний стан технологічних параметрів процесу та стабілізація його режимів;
- архівування історії зміни параметрів;
- відображення значень поточних параметрів у реальному часі, аварійних повідомлень, архіву історії зміни параметрів на дисплеї автоматизованого робочого місця (АРМа) диспетчера (рис. 3);
- експорт даних архіву історії у таблиці Microsoft Excel.

Розробка технологічного процесу

Технологічні методи зміцнення сталевих лопаток, що використовуються, необхідні, але недостатні, вони обмежені рівнем розвитку галузей техніки й технологій, які їх реалізують, ресурс зміцнених ними сталевих лопаток не відповідає сучасним технічним вимогам, а в багатьох випадках залишається низьким і потребує вдосконалення, тому потрібні нові технології, які відповідатимуть експлуатаційним характеристикам. Однією з таких технологій, є вакуумне термоциклічне азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду [3]. При ВТАПШТР відбувається поєднання переваг подавання на вхід вакуумної установки для азотування пульсуючого струму з високою напругою та періодичного чередування циклів насичення та розсмоктування азоту як за насичуючою здатністю атмосфери, так і за температурою.

Технологічний процес ВТАПШТР складається з трьох послідовних блоків: підготовчих операцій; дифузійного насичення деталей; завершальних операцій. Алгоритм технологічного процесу ВТАПШТР наведено на рис. 4.

Протягом всього процесу ВТАПШТР важливо ретельно контролювати та витримувати визначені значення технологічних параметрів.

Технологічний процес відбувається наступним чином. Деталь поміщують у герметичний контейнер та з'єднують з негативним полюсом джерела струму, а стінки контейнера – з позитивним. З контейнера відкачують повітря до тиску 1,33 Па, продувають його робочим газом протягом 5...15 хв. при тискові 1330 Па, знову відкачують контейнер до тиску 1,33 Па, за допомогою спеціальної установки подають електроди пульсуючу напругу 1100...1400 В та збуджують тліючий розряд.

На цій стадії протягом 5...60 хв. здійснюється катодне розпилення, при якому деталь очищується. На етапі катодного очищення контролюється температура розігріву деталі T_d та час очищення. Якщо протягом 5...20 хв. деталь не нагрівається до температури $T_d=200^{\circ}\text{C}$, то збільшують напругу на 30...40 В, яка подається на установку.

Процес вимірювання температури повторюють та приймають рішення щодо необхідності подальшого збільшення напруги – і так рухаються за циклом. Якщо T_d перевищує 350°C , то зменшують тиск на 5...10 Па у вакуумній камері, вимірюють температуру T_d та приймають рішення щодо необхідності подальшого зменшення тиску.

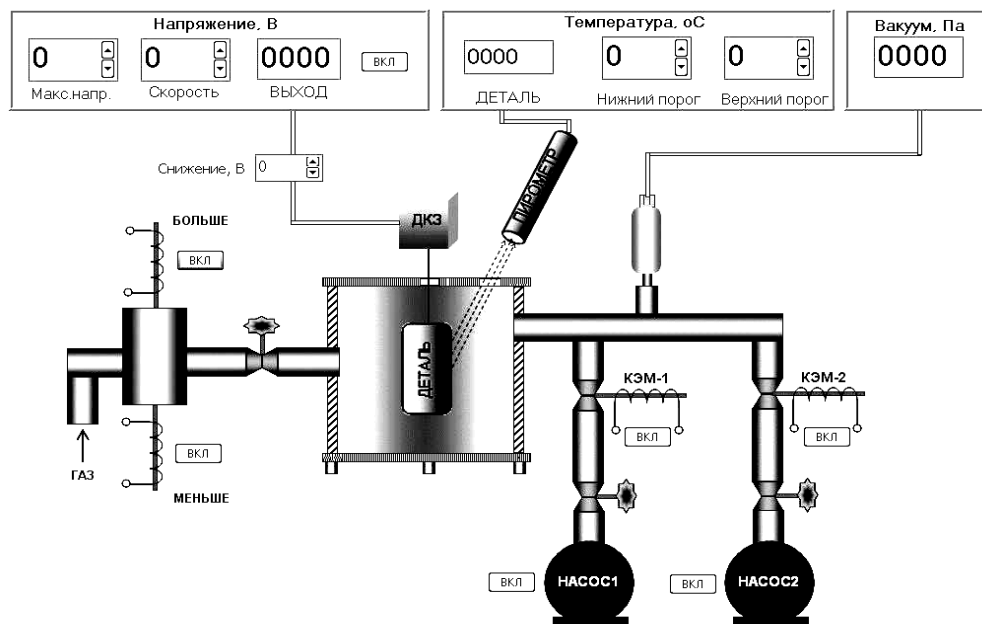


Рис. 3. Дисплей автоматизованої системи контролю та управління технологічним процесом ВТАПШТР

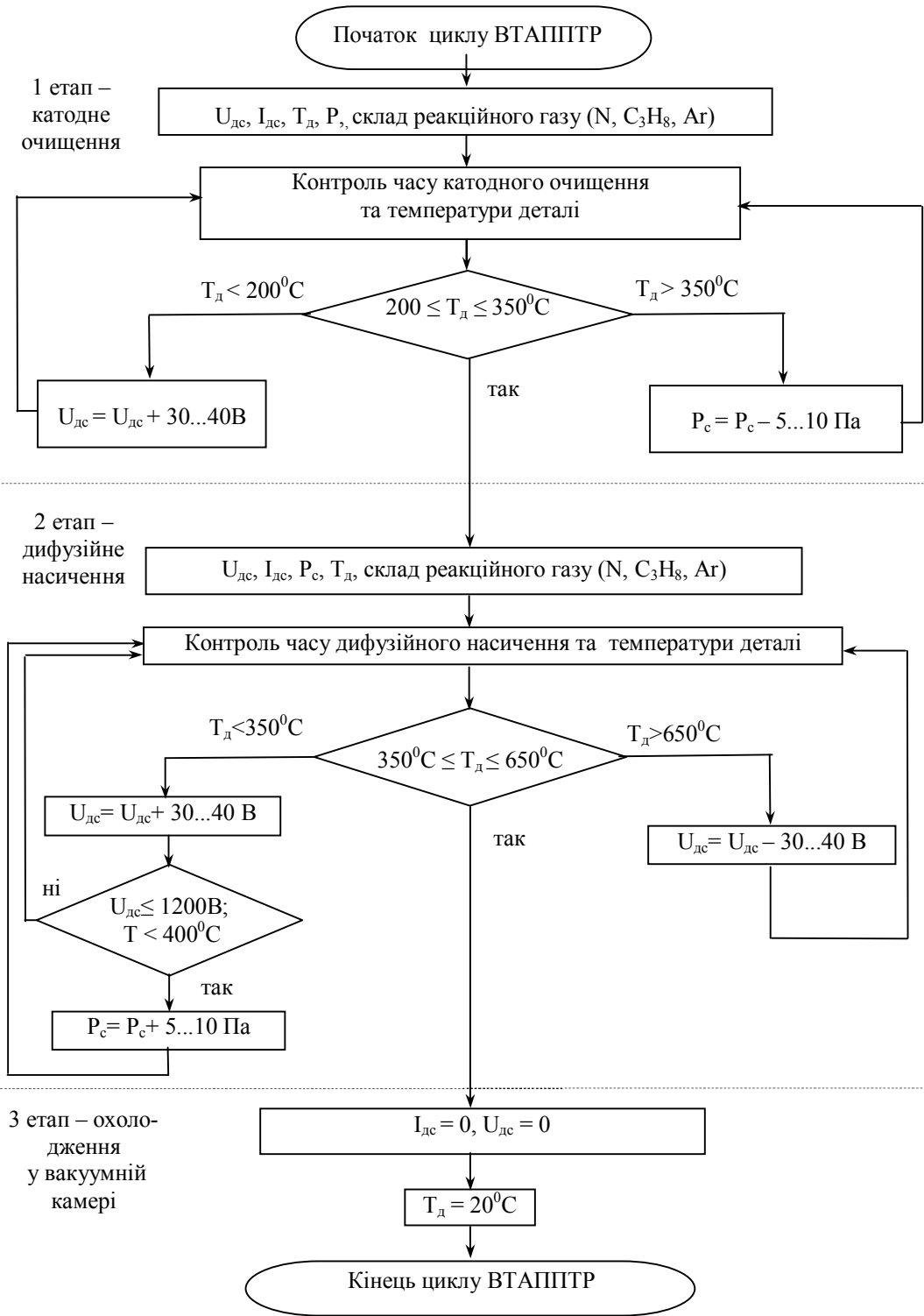


Рис. 4. Алгоритм технологічного процесу ВТАППТР

Далі напругу понижують до робочої, а тиск підвищують до 25...250 Па. При цих параметрах здійснюється власне процес дифузійного насичення азотом, причому напруга 1000...1200 В є пульсуючою з тривалістю імпульсу подачі струму $t = 10...20$ мс та величиною періоду подачі імпульсів $T = 40$ мс. При цьому скважність Q , яка дорівнює

відношенню величини періоду T подачі імпульсів до тривалості t одиночного імпульсу, знаходиться у межах 2...4. Величину скважності Q у таких межах обрано тому, що при $Q < 2$ можливе виникнення дугових розрядів, які спричиняють пошкодження поверхні деталі, а при $Q > 4$ зменшується ефективність іонної обробки.

На етапі дифузійного насичення контролюється температура розігріву деталі T_d та час насичення. Якщо T_d перебільшує 650°C , тоді зменшують напругу на 30...40 В, яка подається на установку, знову вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого зменшення напруги – і так рухаються за циклом. Якщо ж температура деталі T_d стає меншою за 350°C то на 30...40 В збільшують напругу, яка подається на установку, знову вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого збільшення напруги – і так рухаються за циклом. У разі, коли напругу підвищено до 1200 В, а температура T_d залишається меншою за 350°C – на 5...10 Па підвищують тиск у вакуумній камері, вимірюють температуру та приймають рішення щодо необхідності подальшого підвищення тиску.

У процесі дифузійного насичення відбувається циклічне припинення подавання у вакуумну камеру реакційного газу з тривалістю напівциклу 15...30 хв.

При цьому температура насичення азотом та деазотації (розсмоктування) є різною – вищою або нижчою температури евтектичного перетворення (591°C). З метою створення у модифікованому шарі зносостійкої карбонітридної ϵ -фази $[\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})]$ та “зв’язування” кисню до складу реакційної суміші додавали 5% пропану. Після неізотермічного витримання деталі охолоджують під вакуумом до кімнатної температури та виймають з контейнера.

Ппульсуючий тліючий розряд (рис. 5) реалізується наступним чином: змінний струм через понижуючий трансформатор 6 (рис. 6) поступає на вхід електронного блоку управління 7, далі – на два комутуючі тиристори 1. Блок управління за допомогою змінного опору 8 дозволяє змінювати тривалість імпульсів подавання напруги на тиристори. Комутуючі тиристори регулюють амплітуду струму та тривалість його проходження по первинній обмотці підвищуючого трансформатора 2.

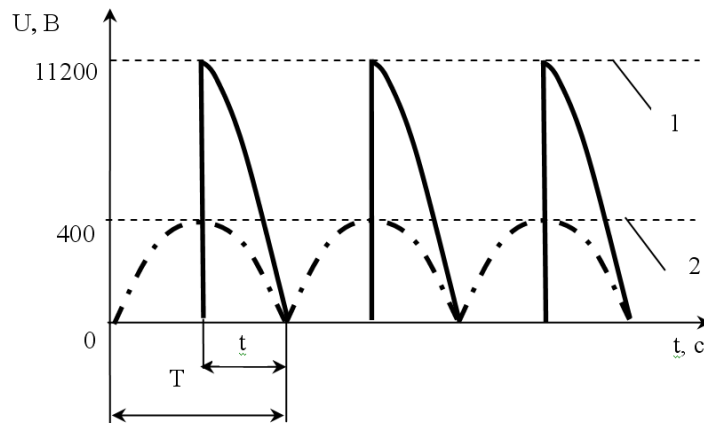


Рис. 5. Параметри струму, що подається на катод – деталь та анод – стінки вакуумної установки: 1 – режим із пульсуючою напругою; 2 – режим із постійною напругою.

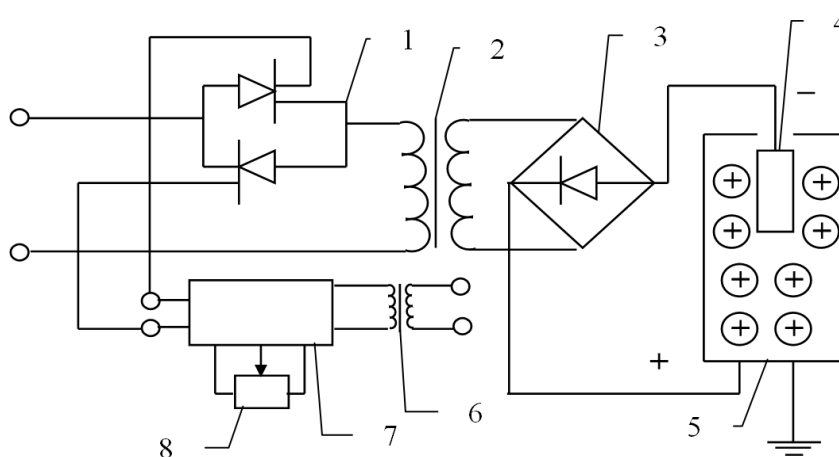


Рис. 6. Схема установки для реалізації ВТАПТР:

- 1 – комутуючі тиристори; 2 – підвищуючий трансформатор;
3 – діодний місток; 4 – катод-деталь; 5 – анод – стінка вакуумної камери;
6 – понижуючий трансформатор; 7 – блок управління; 8 – змінний опір

Із вторинної обмотки трансформатора 2 підвищена до 1000...1200 В напруга подається на випрямляючий діодний місток 3, на виході з якого отримується однополярна пульсуюча напруга, яка, у свою чергу, подається на катод-деталь 4 та анод-стіжки вакуумної установки 5.

Завершальні операції полягають у вийманні оброблених деталей з вакуумної камери та її промивання і протиранні.

Висновки

Визначено алгоритм технологічного процесу щодо підвищення межі витривалості та корозійної стійкості сталевих лопаток АГТД вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду на основі встановлення закономірностей впливу параметрів технологічного процесу на механічні властивості сталей, що дозволить логічно упорядкувати експериментальні дослідження з результатами математичного моделювання на спільній методологічній базі, проводячи формування зміцнених іонноазотованих поверхневих шарів та вибір кращих із них за обраними критеріями оптимізації.

Також розроблено діючий комплекс технологічного забезпечення процесу зміцнення поверхневих шарів деталей вакуумним термоциклічним азотуванням у плазмі пульсуючого тліючого розряду на основі автоматизованої системи контролю та управління технологічним процесом.

Література

1. Пастух, И.М. Модификация металлов с применением азотирования в тлеющем разряде: состояние и перспективы [Текст] // И.М. Пастух // Проблемы трибологии. – 2004. – № 3. – С. 42–55.
2. Пат. 10014 Україна, МПК⁷ C23C8/06. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді / Ляшенко Б.А., Рутковський А.В., Мірненко В.І., Радько О.В.; Заявник та патентовласник Національна академія оборони України. – № 19782; Заявл. 19.09.06; Опубл. 15.12.06, Бюл. №12. – 5 с.
3. Нежведілов, А.Ю. Аналіз методів підвищення корозійної стійкості сталевих лопаток компресора ГТД [Текст] // А.Ю. Нежведілов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 6 (83). – С. 77–80.

Поступила в редакцію 3.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інтегрованих технологій А.Я. Мовшович, Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И ПРЕДЕЛА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ЛОПАТОК ВАКУУМНЫМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИМ АЗОТИРОВАНИЕМ В ПЛАЗМЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

А.Ю. Нежведілов

В статье разработана технологическая база для формирования упрочненного поверхностного слоя вакуумным термоциклическим азотированием в плазме пульсирующего тлеющего разряда на основе автоматизированной системы контроля и управления. Разработана функциональная схема автоматизированной системы контроля, а также определены основные ее параметры. Разработан алгоритм технологического процесса, который позволяет контролировать и изменять режимы и технологические параметры процесса диффузионного насыщения на начальном этапе. Разработана установка, дающая возможность получить пульсирующий тлеющий разряд.

Ключевые слова: диффузионный слой, азотирование, алгоритм, цикл, насыщение, импульс.

TECHNOLOGICAL BASES OF INCREASE OF CORROSIVE FIRMNESS AND LIMIT OF ENDURANCE OF STEEL SHOULDER-BLADES VACUUM THERMAL-CYCLE NITRIDINGS IN PLASMA PULSATING SMOULDERING DIGIT

A. Y. Nezhvedilov

In the article a technological base is developed for forming of the fixed superficial layer vacuum thermal-cycle nitridings in plasma of pulsating glow-discharge on the basis of CAS of control and management. The functional diagram of CAS of control is developed, and also its basic parameters are certain. Rozroblen algorithm of technological process, which allows to control and change the modes and technological parameters of process of diffusive satiation on the initial stage. Developed setting which enables to get a pulsating smouldering digit.

Key words: diffusive layer, nitriding, algorithm, cycle, satiation, impulse.

Нежведілов Артур Юсуфович – аспірант кафедри технології виробництва двигателів летательних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: nezhvedilov77@mail.ru