

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ

Хмельницький національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ЖИВЛЕННЯМ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Проаналізовані особливості технологічного процесу і устаткування для азотування в тліючому розряді з живленням катода і анода постійним або циклічно комутованим струмом. Викладені особливості живлення екрана та деталі струмом промислової частоти з безпосереднім підводом напруги до деталі та екрана камери. Наведені аргументи щодо прийнятності та можливості живлення камери струмом промислової частоти, а також ймовірна можливість модифікованого процесу в порівнянні з традиційним. Порівняні конструктивні особливості установок різного типу з аналізом переваг та недоліків кожної схеми. Сформульовані висновки стосовно перспективності впровадження процесу.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, живлення, змінний струм.

I.M. PASTUKH, G.M. SOKOLOVA, V. V. LUHOVEC

Khmelnytsky National University

RATIONALE NITRIDING IN A GLOW DISCHARGE WITH AC POWER

Peculiarities of the process and the equipment for nitriding in a glow discharge powered cathode and anode permanent or cyclical switching current. The above features power and screen details the current power frequency direct voltage leads to the components and the camera screen. These arguments on the admissibility and the possibility of supply camera power frequency current and the likely possibility of a modified process compared to traditional. Compared design features plants of various types of analysis of the advantages and disadvantages of each scheme. The conclusions regarding the prospects of the implementation process.

Keywords: nitriding, glow discharge, power supply, AC.

Вступ

З часу винайдення та початку промислового використання технологія азотування в тліючому розряді пройшло вже близько 70-ти років, проте дослідження теоретичних основ, вдосконалення технології та конструкції устаткування практично не переривалось весь цей період [1]. Запропоноване та промислово застосовується безводне азотування, що призвело до виключення з газових середовищ аміаку і, таким чином, до принципового покращення умов роботи, екологічної чистоти процесу, а також до одержання більш широкої гами фазових структур модифікованого шару [2]. В свою чергу, це забезпечує кращу структуру поверхні, а головне – розширює спектр експлуатаційних показників, які становлять оптимум процесу та його результатів.

Значна частина досліджень присвячена методам забезпечення розряду при принципово різних апаратних реалізаціях [3]. Окрім азотування з постійним живленням від джерела постійного струму використовуються установки з додатковим підігрівом від спеціальних екранів чи терморадіаційних підігрівачів, що дозволяє зменшити зв'язок між електричними параметрами технологічного режиму і режимними факторами, в першу чергу – температурою, оскільки енергетичним фактором забезпечення її є не тільки тліючий розряд. Розробка нових теоретичних підходів базується, насамперед, на базових положеннях фізики газового розряду [4].

Технологічний процес в принципі став багатостадійним, при якому він складається з макро- або мікрофаз, що теж суттєво впливає на результати та продуктивність процесу обробки.

Принципово інші результати азотування досягнуті за рахунок впровадження циклічно-комутованого розряду, в якому порівняно з періодом часу, достатнім для гасіння переходу тліючого розряду в дуговий, переривається подача живлення на електроди камери. Окрім спрощення систем управління в установках з циклічно-комутованим живленням менш складними стають питання позиціонування деталей в камері, оскільки при цьому вже не грають такої ролі, як при живленні постійним у часі струмом, наявність зазорів між деталями та оснащенням для їх закріплення. Але, враховуючи той факт, що живлення електродів камери проходить не весь час, а в значно менший (наприклад при живленні із шпаруватістю, рівній двійці процес азотування проходить тільки в половині часу), продуктивність обробки зменшується приблизно в тій же мірі. Певну проблему становлять викиди напруги та струму на початку та в кінці циклу живлення, які можуть провокувати локальне пошкодження оброблюваної поверхні. Нарешті останній аргумент на користь подальших пошуків та вдосконалення як процесу, так і устаткування, є складність систем управління для всіх перерахованих вище варіантів технології.

Постановка задачі

Метою цієї роботи є аналіз можливості та умов для спрощення конструкції установок для азотування в тліючому розряді, а також обговорення принципових питань можливості застосування в якості

живлення електродів розрядної камери змінним струмом промислової частоти (СПЧ). При цьому передбачається аналіз зміни впливу на результати азотування енергетики процесу, та її характеристик, встановити шляхи зміни конструкції блоків живлення.

Виклад основного матеріалу

Структура та функціональне призначення окремих складових (на прикладі трикамерної установки показані на рис. 1. В тій частині конструкції установки, яка стосується її живлення, в загальному вигляді при умові живлення процесу постійним струмом, в блок живлення повинні в обов'язковому порядку входити складові з функціональним призначенням: регулятор напруги (задається напруга на вході в систему живлення); підвищуючий трансформатор (під впливом керуючого сигналу від регулятора напруги змінює напругу аж до значень, порядку 1200 В – при закінченні фази очистки поверхні катодним бомбардуванням; випрямляч, що перетворює змінний струм в умовно постійний (умовно постійний пов'язано з тим, що після випрямляча форма вихідної напруги включає пульсації більшої чи меншої величини в порівнянні з номінальною напругою, окрім того сам принцип дії регуляторів напруги здебільшого – тиристорного типу передбачає вже на вході в трансформатор відсічку частини синусоїди; баластний реостат для перерозподілу електричного струму на вході в камеру. Управління блоком живлення проводиться від системи управління за допомогою ручного задавача і аж до автоматичного принципу підтримки напруги на певному значенні.

При циклічно-комутованому живленні (напруга подається з певним проміжком часу), як зазначалось вище, мають місце значні викиди напруги на початку та в кінці імпульсу (аж до значень, які можуть викликати місцеве пошкодження поверхні), крім того (можливо найбільш вагомий аргумент) система управління розрядом значно ускладнюється за рахунок обов'язкового включення генераторів керуючих імпульсів, які працюють на частоті порядку 1–5 кГц. Як відзначалось вище, при циклічно-комутованому розряді суттєво знижується продуктивність процесу модифікації.

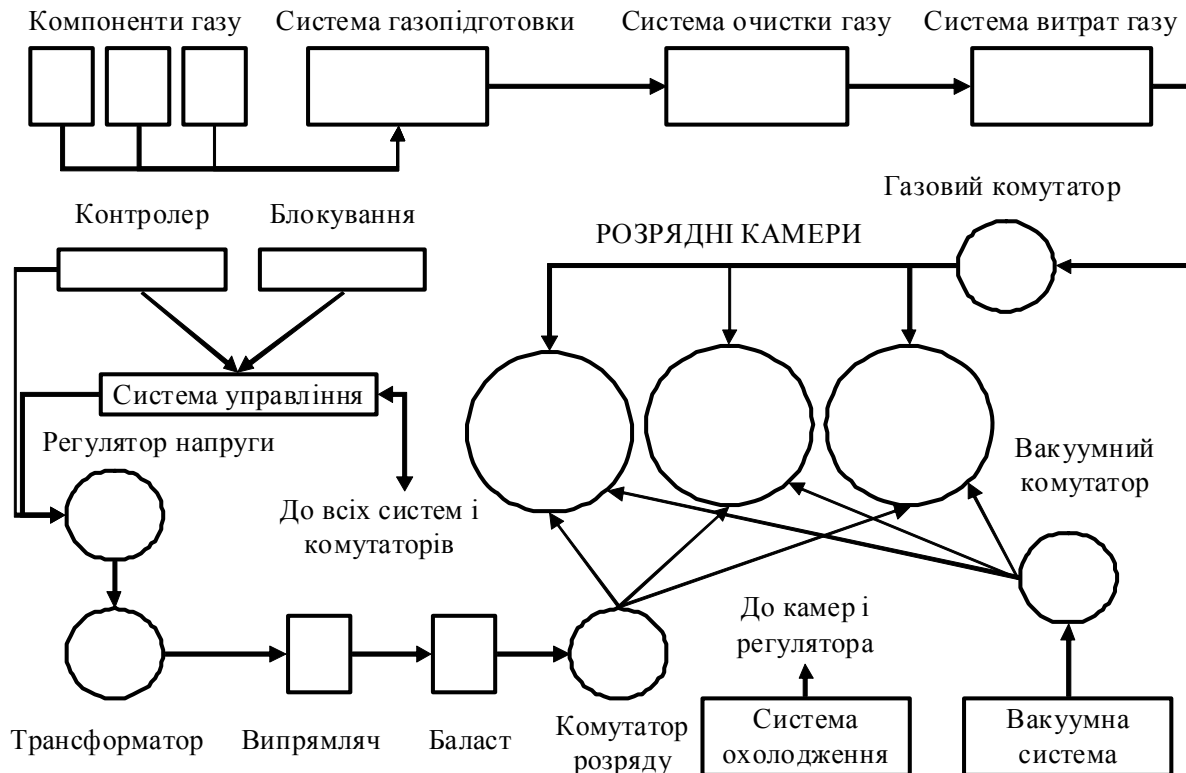


Рис. 1. Структурна блок-схема трикамерної установки

Описана вище структура живлення установок для азотування в тліючому розряді найбільш придатна для монофазових процесів, коли весь технологічний процес проходить при незмінних технологічних параметрах. Проте при цьому слід мати на увазі, що головне завдання блоку живлення не самоціль підтримки певних електричних характеристик розряду, а забезпечення стабільної температури на поверхні оброблюваних деталей, як параметра, котрий першочергово впливає на формування заданого фазово-структурного складу поверхні об'єктів модифікації, а через нього - на експлуатаційні властивості.

В принциповому плані перспективи практичного застосування азотування в тліючому розряді з живленням змінним струмом промислової частоти (АТР ПЧ) визначаються якраз з врахуванням цієї обставини як визначальної, оскільки при змінній амплітуді струму відповідно в той період, коли на електроди камери подається від'ємна напруга, вже нагрівається не катод, яким служить садка, а анод чи складова частина установки, яка виконує роль анода (при наявності ізоляції подібного анода від камери). Очевидно, що при такому конструктивному рішенні необхідно забезпечити надійну ізоляцію анода від

корпуса, оскільки у випадку порушення її виникне реальна загроза враження електричним струмом.

Оскільки у випадку застосування АТР ПЧ живлення електродів відбувається однофазним струмом, то конструкція трансформатора суттєво спрощуються, а вартість зменшується мінімум в три рази. Аналогічно логічним було б виготовити та застосувати однофазний регулятор напруги, що в сукупності з однофазним трансформатором неминуче позитивно вплине на вартість всієї установки. При цьому, природно, зменшаться амортизаційні витрати, що теж позитивно вплине на собівартість. Певний вклад в зниження вартості установок вносить відсутність випрямляча та баластного реостата.

З цього аналізу постає як питання першої вагомості – чи достатньо тепла, яке садка отримує від тліючого розряду, для забезпечення температури відповідно до технологічного режиму. В разі неможливості виконання цієї задачі становище не безвихідне, оскільки можна застосувати додаткові нагрівачі – конструктивна схема, яка давно і успішно застосовується насамперед з метою забезпечення незалежності енергетики процесу від енергетичних параметрів розряду. Таким чином можливе застосування технологічних режимів з підвищеною напругою розряду або силою струму, які б дозволили сформувати необхідну за умовами наступної експлуатації фазову структуру поверхневого модифікованого шару.

З цього аналізу випливає вивчення при різних умовах теплового балансу як першочергова задача експериментальних досліджень. Експерименти повинні проводитись в широкому діапазоні умов застосування процесу.

Наступним питанням постановочного характеру є вивчення електричних характеристик процесу. Це питання пов'язане насамперед із необхідністю встановлення напруги запалювання розряду та стійкого горіння його в режимі аномального. Бажано при цьому встановити аналітичні залежності від параметрів технологічного режиму, що в подальшому дозволить проектувати процес з врахуванням його енергетичних передумов. Таким чином будуть встановлені межі енергетичних характеристик, необхідних для реалізації процесу.

Ще одне питання, чи не найважливіше і найвагоміше, процес формування заданої структури при АТР ПЧ. Справа насамперед в тому, що процес азотування є практично завжди комбінацією окремих субпроцесів: утворення нітридів, розпорошення поверхні та дифузії часток поверхні, серед яких превалює азот в глибину поверхневого шару. При звичайному азотуванні (незмінні умови – постійна енергетика) між окремими субпроцесами встановлюється рівновага, як правило на користь утворення нітридів та дифузії. Процес в умовах цієї рівноваги проходить стаціонарно і з різною інтенсивністю, яка залежить не тільки від енергетичних умов, але й навіть від матеріалу деталей, які азотуються. Відомо, що хромисті сталі можливо азотувати тільки в газових середовищах, де превалює нейтральний компонент. Це пов'язано з тим, що хром відноситься до азотоактивних матеріалів. Вже в початковий період азотування на поверхні утворюється моношар азоту, який в подальшому виконує роль перешкоди для проникнення азоту в глибину поверхні, азотування практично не проходить, товщина шару нітридів дуже незначна. Враховуючи значну відносну тривалість півперіоду (0,02 с), коли на електроди камери подається від'ємна напруга, цілком доречним буде сподіватись на те, що під дією потоку електронів, які тепер вилітають з поверхні деталі, котра модифікується моношар нітридів в певній мірі буде руйнуватись, що в наступний півперіод, коли потік направлено на катод сприятиме інтенсифікації як нітридоутворення, так і дифузії азоту в глибину поверхневого шару.

Висновки

В принципову плані азотування в тліючому розряді з живленням струмом промислової частоти можливе. При цьому суттєво спрощується та здешевлюється установка для реалізації процесу. Останній фактор сприятиме окрім інших аспектів більш широкому впровадженню технології, оскільки купівля установок по сьогоднішнім цінам для більшості підприємств проблематична.

Необхідно провести широкі експериментальні дослідження, направлені в першу чергу на вивчення питань теплового балансу установок, можливості нагріву садки при різних умовах до температури, заданої технологічним режимом. Наступні питання як предмет експериментів стосуються електричних характеристик розряду.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти]. – М. : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.
2. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
3. Пастух И. М. Особенности азотування в тліючому розряді з нестационарним живленням отворів з відносно малим діаметром / І. М. Пастух, В. В. Люховець, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №3. – С. 195–199.
4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Райзер Ю. П. – М. : Наука, 1987. – 592 с.

Рецензія/Peer review : 20.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 7.2.2017 р.
Стаття представлена: д.т.н., проф.