

$$\text{де } a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt.$$

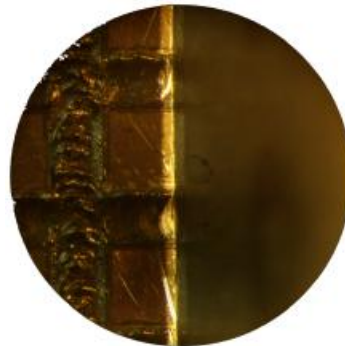
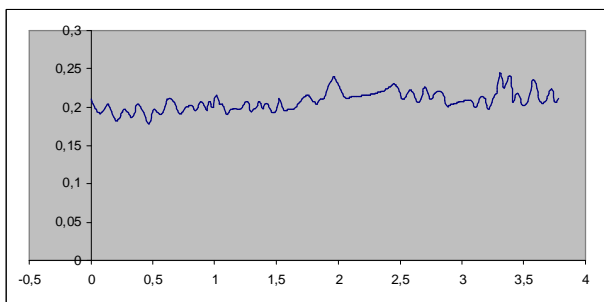
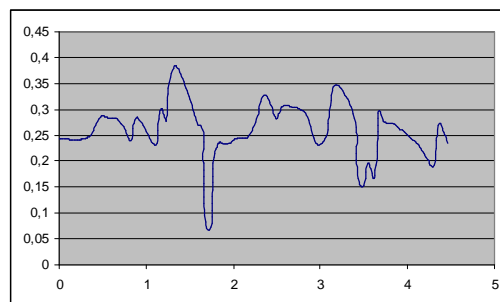


Рис. 4. Вигляд контурів зрізів в процесі вимірювання параметрів поверхні



а)



б)

Рис. 5. Профіль поверхні після електроіскрового легування (а) та лазерного опромінення (б)

Висновок. Запропонована методика ідентифікації поверхонь контакту практично апробована і може бути використана для досліджень фретингостійкості номінально нерухомих фрикційних з'єднань. Отримані характеристики передбачається використати для обґрунтування параметрів аналітичної моделі фрикційного контакту.

Література

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

Надійшла 8.12.2009 р.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

А.М. ДАВИДОВ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, І.М. ПАСТУХ
Хмельницький національний університет

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМУ АЗОТУВАННЯ В ЦИКЛІЧНО КОМУТОВАНОМУ ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Наведені основні передумови та принципи використання циклічно-комутованого тліючого розряду для азотування металевих поверхонь.

The base requirements and principles of application cyclically – commuted a glow discharge for a nitrogen hardening of metal surfaces are reduced.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд

Вступ. Відповідно до даних, які наведені в джерелах [1-4], впровадження режиму циклічної комутації при азотуванні в тліючому розряді відкриває додаткові можливості підвищення ефективності та якості вказаної технології, насамперед:

- розширюється можливість азотування деталей складної форми (наявність глибоких та вузьких пазів, отворів малого діаметра та значної глибини тощо);
- знижується ризик локальних ушкоджень модифікованих поверхонь за рахунок зменшення імовірності виникнення дугових розрядів;
- розширюється допустимий діапазон регулювання таких важливих з точки зору оптимізації технологічного процесу параметрів як тиск в розрядній камері та температура поверхні деталей;

- для варіанту автономної системи нагрівання деталей значно спрощується контроль недопущення перегрівання поверхні, спричиненої виділенням додаткової енергії розряду.

Основні положення розробки апаратури для циклічної комутації розряду. Розробка експериментального макету пристрою для реалізації циклічної комутації газового розряду базувалась на наступних передумовах:

- максимальна сумісність з існуючим електротехнічним та електронним устаткуванням;
- використання доступної елементної бази;
- можливість забезпечити достатньо широкий діапазон зміни параметрів комутації з метою подальшої оптимізації режимів та їх порівняльного аналізу;
- надійний захист устаткування від перевантажень та нештатних ситуацій.

Обґрунтування параметрів комутації базується в першу чергу на наступних вимогах до джерела імпульсного струму:

- форма імпульсу повинна бути прямокутною, що забезпечувало б стрибок від нульового рівня до бажаної зони аномального тліючого розряду;
- тривалість імпульсу повинна бути меншою за час розвитку дуги (приблизно менше 100 мкс), при цьому порушується формування дуги; в разі необхідності переривання струму може виконуватись протягом будь-якого імпульсу;
- пауза, котра слідує після кожного імпульсу, повинна бути настільки короткою, щоб забезпечити легке запалювання розряду під дією наступного імпульсу, тобто бути меншою декількох мілісекунд;
- відношення тривалості імпульсу та паузи повинно змінюватись в широких межах для ефективного керування нагріванням деталей.

Типові значення тривалості імпульсу, які рекомендуються в [2], знаходяться в інтервалі 20 – 100 мкс, в той час, як тривалість паузи може змінюватись в межах 20 – 200 мкс. Слід в той же час зауважити, що процеси запалювання і гасіння розряду відзначаються суттєвою інерційністю, а ця обставина накладає певні обмеження на вибір часових параметрів комутації. Більш того, інерційність процесів газового розряду може залежати від геометрії розрядного простору та його розмірів, котрі в реальних умовах можуть змінюватись в дуже широкому діапазоні. З цього випливає висновок, що було б необачно беззастережно переносити рекомендації [2, 3], які розроблені на експериментальній установці з камерою діаметром 400 мм та висотою 600 мм, на випадок значно більших за розмірами установок. Те ж стосується і результатів, отриманих в процесі фізичних досліджень мініатюрних газорозрядних приладів (так званий лабораторний розряд). Однак, прийнято рішення на даному етапі розробки забезпечити достатньо широкий діапазон параметрів комутації струму з метою його уточнення після проведення серії попередніх експериментів. А саме задаємось діапазонами варіації частоти f слідування імпульсів від одного до десяти кілогерц, коефіцієнту заповнення періоду від нуля до одиниці

$$h = t_n / T = 0 \dots 1,$$

де T – період слідування імпульсів, $T = 1/f$,

t_n – тривалість імпульсу (тривалість активної частини періоду).

Вибір структури вторинного джерела живлення. З метою економії часу та витрат прийнято рішення як базовий використовувати блок живлення існуючих установок для азотування в тліючому розряді, в тому числі – відповідні пристрої керування (КПА – контролер процесу азотування), а також датчики струму та напруги розряду. Для реалізації імпульсного режиму установки блок живлення додатково укомплектовано Т-подібним RC – згладжуючим фільтром та спеціально розробленим контролером переривчастого режиму (КПР), який включає силовий електронний ключ ЕК з пристроєм керування та захисту.

Для побудови силового ключа вибрано потужний транзистор структури MOSFET, котрий відзначається наступними перевагами, в першу чергу – в порівнянні з біполярними транзисторами:

- мала потужність, споживання в колах управління;
- хорошими характеристиками при паралельній роботі, що дозволяє порівняно легко нарощувати потужність ключа (до певних меж).

Разом з тим, як і при використанні біполярних транзисторів, в даному випадку актуальна проблема захисту від перевантажень за струмом, котрі різко знижують надійність ключа.

Функціональна схема контролера переривчастого режиму приведена на рис. 1. Там же для зручності показані деякі суттєві з точки зору пояснення принципу роботи системи елементи установки: трифазний випрямляч 1 (включає Т-подібний RC- згладжуючий фільтр), газорозрядну камеру 2, датчик струму R_i – 3, контролер процесу азотування 4.

В якості електронного ключа використовуються два паралельно включені по виходу транзистори, кожний з котрих характеризується граничними значеннями напруги та струму, відповідно – 900 В та 8 А.

Перед тим, як перейти до викладення принципу роботи захисту електронного ключа за струмом, відмітимо наступне. По-перше, захист повинен спрацювати при перевищенні будь-яким імпульсом розрядного струму наперед встановленого безпечного значення. По-друге, після спрацювання захисту та зникнення причини, яка викликала це спрацювання (наприклад, короткочасне випадкове підвищення напруги джерела живлення), система захисту повинна повернутись у вихідний стан, а камера – продовжити

роботу в штатному імпульсному режимі. По-третє, особливу роль система захисту повинна відігравати при початковому включенні установки та запалюванні розряду, оскільки в цьому випадку місце знаходження робочої точки на вольт-амперній характеристиці газового розряду практично неконтрольоване, тому і ймовірність перевантаження за струмом значна.

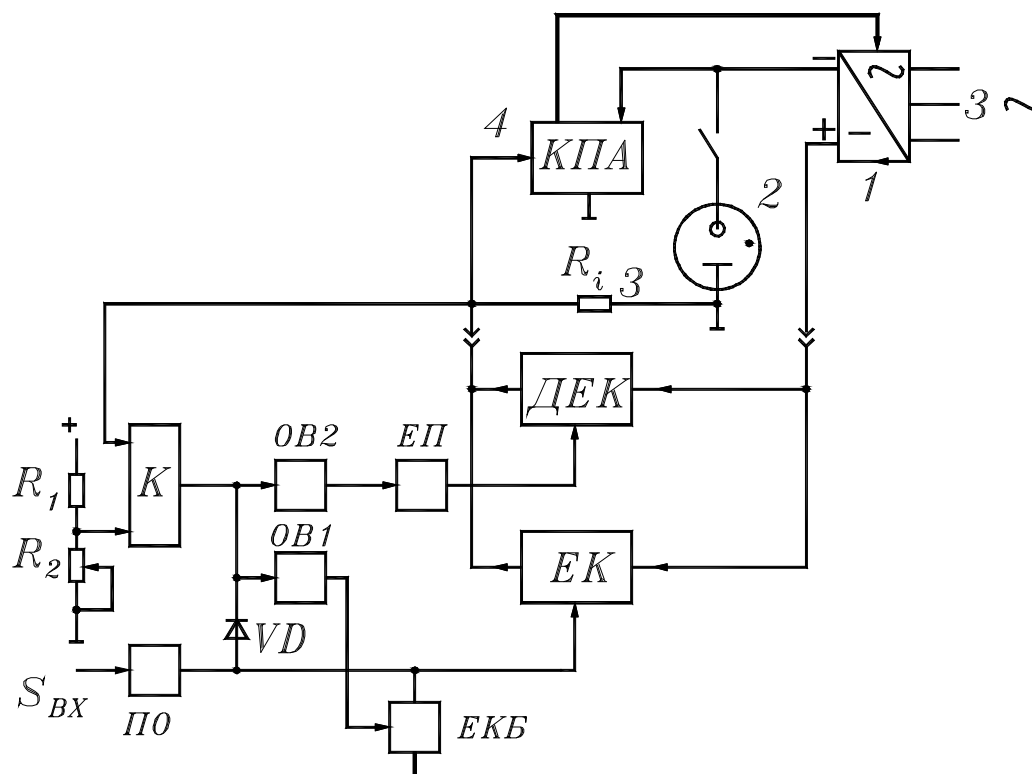


Рис. 1 Функціональна схема контролера переривчастого режиму

1 – трифазний випрямляч; 2 – розрядна камера; 3 – датчик струму; 4 – контролер процесу азотування; R_i – датчик струму; R_1 , R_2 – задавачки порогу; К – компаратор; S_{BX} – вхідний керуючий сигнал; ПО – підсилювач-обмежувач; OB1, OB2 – одновібратори; ЕК – електронний ключ; ДЕК – допоміжний електронний ключ; ЕП – емітерний повторювач; ЕКБ – електронний ключ блокування; VD – діод блокування

Виходячи з вищесказаного, доцільно побудувати захист таким чином, щоб:

- сигнал перевантаження за струмом переводив установку з імпульсного режиму роботи в безперервний за допомогою допоміжного електронного ключа (ДЕК), толерантного стосовно перевантажень за струмом;
- в безперервному режимі система захисту в блоці КПА відслідковувала поточні значення струму, а відсічка дуг виконувалась під керуванням блоку КПА;
- при зникненні сигналу перевантаження за струмом система автоматично поверталась в імпульсний режим шляхом відновлення комутації електронного ключа ЕК та закривання допоміжного електронного ключа ДЕК.

Керуючі імпульси, які служать для циклічного замикання основного електронного ключа ЕК, утворюються з вхідного сигналу S_{BX} гармонічної чи імпульсної форми за допомогою підсилювача-обмежувача ПО. Штатний режим роботи установки полягає в тому, що за допомогою ключа ЕК циклічно комутується струм, створений джерелом 1, в колі живлення камери 2. Цим забезпечується періодичне чергування інтервалів існування в камері аномального тліючого розряду з інтервалами гасіння розряду. Миттєві значення розрядного струму безперервно відслідковуються шляхом порівнювання в компараторі К сигналу з датчика струму R_i та порогової напруги, котра задається дільником R_1 , R_2 . У випадку перевищення струмом розряду критичного значення напруга на виході компаратора переходить з вихідного стану «лог.1» в стан «лог.0», що в свою чергу призводить до запуску одновібраторів OB1 і OB2. Позитивний імпульс з виходу одновібратора OB1 відкриває паралельний електронний ключ блокування керуючих імпульсів ЕКБ, в результаті чого основний електронний ключ ЕК закривається. Одночасно позитивний імпульс з виходу одновібратора OB2, підсилений за потужністю емітерним повторювачем ЕП, відкриває допоміжний тиристорний електронний ключ ДЕК, толерантний стосовно значних перевантажень за струмом. В результаті камера переходить з режиму циклічно комутуваного в режим безперервного розряду. За допомогою цього досягається не тільки захист ключа ЕК від перевантажень за струмом, але і захист за напругою, що важливо в закритому стані силових транзисторів ЕК. Цикл захисту продовжується і після закінчення вихідного імпульсу одновібратора OB1 в разі, коли на виході компаратора К зберігається

стан «лог. 1», що свідчить про перевантаження за струмом, проте в цьому випадку керуючі імпульси *ЕК* блокуються за рахунок відкриття діода *VD*.

Керування роботою установки на інтервалі захисту, в тому числі і відсічка дуг, виконується контролером процесу азотування *КПА*, котрий штатно входить у склад обладнання установки азотування.

Після того як зникне перевантаження за струмом, а відповідно – фактори блокування роботи ключа *ЕК*, установка автоматично повертається в режим циклічної комутації. Це відбувається після надходження першого ж позитивного імпульсу керуючого сигналу, який відкриває силові транзистори *ЕК*. В результаті шунтування ключем *ЕК* тиристора *ДЕК* останній закривається, що забезпечує вихід з циклу захисту. Для зручності початкового запуску і при налагоджувальних роботах використовується ручне перемикання режимів.

Живлення блока *КПП* забезпечується від стабілізованого джерела з вихідною напругою +15 В.

Висновки. Практична реалізація вищеописаного пристрою *КПР* на установці азотування в тліючому циклічно-комутуваному розряді підтвердила його працездатність в умовах реальних технологічних процесів. При цьому досягнуті всі заплановані вищевідзначені передумови, що відкриває шлях до експериментального використання циклічно-комутуваного розряду для модифікації поверхні металевих сплавів на принципово новій основі. Застосування означеного методу дозволяє вирішувати цілий ряд проблем технологічного порядку, серед яких найголовніша – модифікація деталей складної форми, з отворами та заглибленнями малих поперечних та великих за протяжністю розмірів. Подібні деталі вдавалось ефективно азотувати тільки з використанням пічного азотування в аміачних газових середовищах, тобто процесу, який в сучасних умовах неприйнятний не тільки з огляду на його економічні показники, але й, насамперед, з позицій екологічної безпеки. Крім того суттєво зменшується імовірність пошкодження поверхні, викликаного випадковим переходом тліючого розряду в дуговий, що часто спостерігається при застосуванні безперервного живлення розрядної камери.

Література

1. 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.
2. Grun R. Pulse plasma treatment the innovation for ion nitriding // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 143-168.
3. Grun R. Industrial advances for plasma nitriding // Ion nitriding and ion carburising: 2nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 157-163.
4. Dressler S. Plasma parameter control for industrial situations: The role of hot wall plasma nitriding furnaces // Ion nitriding and ion carburising: 2nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 183-195.

Надійшла 14.12.2009 р.