

МОДИФІКАЦІЯ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ В ЦИКЛІЧНО КОМУТОВАНОМУ РОЗРЯДІ

*Викладені головні положення застосування для азотування в тліючому розряді циклічної комутації живлення.
The substantive provisions of application are expounded for nitration in the glow discharge of cyclic commutation supply.*
Ключові слова: азотування, тліючий розряд, циклічна комутація.

Вступ та постановка задачі

Модифікація сталених поверхонь з використанням тліючого розряду в основному базується на використанні процесу безперервного живлення розряду. Варіант безперервного живлення розряду не завжди дозволяє добитися бажаних результатів, особливо при наявності на поверхні, що модифікується, зон складної конфігурації (гострі вершини, або грані, вузькі щілини, глибокі отвори, таке інше). Зони складної конфігурації суттєво затрудняють сам процес модифікації при використанні неперервного живлення розряду. Гострі вершини, іноді грані можуть служити концентраторами електричного поля і провокувати виникнення коронних та дугових розрядів. Вузькі щілини, глибокі отвори блокують проникнення тліючого розряду на значну глибину. Ефект блокування процесу проникнення розряду на значну глибину вузьких щілин та отворів пояснюється формою траєкторії часток падаючого потоку. Траєкторія часток падаючого потоку в вузьких щілинах та глибоких отворах представляє собою параболічну криву, направлену від входу отвору (щілини) до стінок, це обумовлено наявністю постійного електричного поля розряду. Чим далі по глибині отвору (вузької щілини), тим менша концентрація поля. Відомо, що на глибині більше двох характерних розмірів локального винятку поверхні, яким і є отвір відносно малого діаметра або візка та глибока щілина, напруженість електричного поля практично зникає. Іншу проблему складає наявність клиноподібних заглиблень, поведінка часток падаючого потоку в яких аналогічна тим процесам, які мають місце і в відносно вузьких заглибленнях. В цьому випадку області катодного падіння біля двох сусідніх поверхонь взаємно перекриваються, що збільшує шлях електронів та суттєво підвищує інтенсивність процесу іонізації. В результаті ступінь іонізації зростає настільки, що в подібних локальних винятках поверхні розряд переходить в дуговий. В більшості випадків процес азотування стає практично неможливим.

Головні положення модифікаційного процесу. Одним із шляхів зміни траєкторії польоту часток падаючого потоку є відключення електричного поля на певний проміжок часу, для забезпечення польоту часток за інерцією по дотичній до їхньої параболічної траєкторії. Це сприятиме проникненню часток на значно більшу глибину, іншими словами – «накачці» іонів у простір локальних заглиблень.

Процес розвитку технології модифікації поверхонь з використанням тліючого розряду поступово проходив певні етапи. В початковий період установки азотування в тліючому розряді проектувались по схемі прямої полярності (умовна назва), при якій деталь є катодом з постійним живленням. Такий метод живлення має певні переваги:

- система живлення відрізняється простотою, хоча вимагає обов'язкової наявності пристроїв автоматичного запобігання переходу тліючого розряду в дуговий;
- такий метод забезпечує передачу значної кількості енергії падаючому потоку, та, відповідно поверхні деталей, що обробляються;
- більша інтенсивність процесу при меншій тривалості;
- досить висока стабільність розряду;
- можливість керування стабільністю розряду шляхом введення фільтрів для згладжування пульсацій.

Однак, як недолік, слід виділити, наявність фільтрів пульсацій, які дещо ускладнюють схему блоків живлення, збільшують їхню вартість, витрати електроенергії.

Основним же недоліком системи живлення постійного живлення являється складність обробки отворів, щілин та інших локальних винятків поверхні.

Принципова структурна схема установки для азотування в тліючому розряді з постійним живленням представлена на рис. 1.

Одним із шляхів вдосконалення якості обробки сталених поверхонь в тліючому розряді є впровадження циклічно комутованого розряду (ЦКР). Впровадження ЦКР не потребує створення принципово нового обладнання, достатньо модифікації існуючих установок. Суть модифікації полягає у введенні в схему живлення розряду комутатора розряду, який би формував сигнал необхідної конфігурації. Найбільш перспективним варіантом конструктора комутатора з врахуванням частоти процесу комутації, яка неприйнятна для механічних систем, є електронний його варіант. В структурній схемі установки (рис. 1), в ланцюг живлення розряду між блоками 4. 4 – смісно-індуктивні фільтри та 4.5 – датчик системи контролю і управління розрядом вводиться комутатор розряду.

При використанні для модифікації поверхні ЦКР можлива часткова, або повна заміна функцій

блоку контролю і управління розрядом, але відмовлятися від останнього недоречно. Комутатор може забезпечувати стабільність розряду лише в випадку формування сигналу певної конфігурації, коли тривалість його менше часу переходу тліючого розряду в дуговий, тривалість паузи – не менше часу згасання дугового розряду.

Наявність в схемі установки блоку циклічної комутації розряду не виключає можливості використання обладнання і в режимі постійного розряду, передбачивши можливість мобільного варіювання режимів: постійного і комутованого.

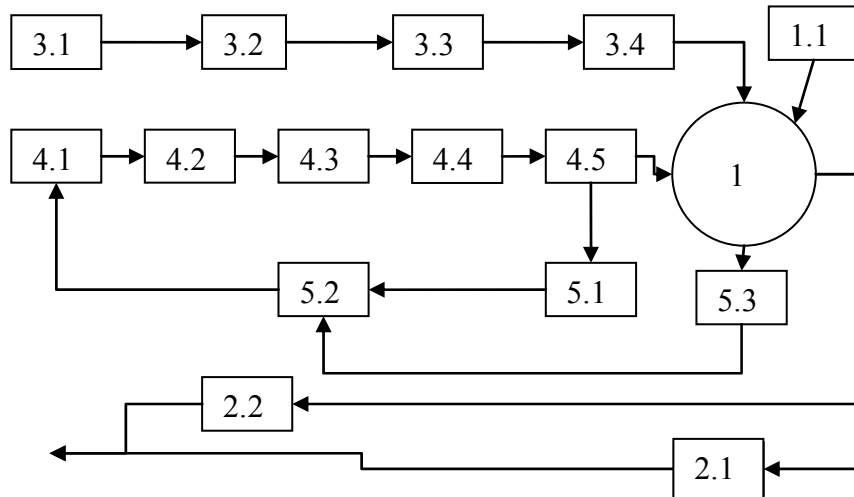


Рис. 1. Структурна схема установки для азотування в тліючому розряді: 1 – розрядна камера; 1.1 – засоби механізації камери; 2.1 – вакуумний насос попереднього відкачування повітря із розрядної камери; 2.2 – вакуумний насос глибокого відкачування; 3.1 – відсік газозберігання; 3.2 – система підготовки газової суміші; 3.3 – система газозаочищення; 3.4 – система подачі газу в розрядну камеру; 4.1 – регулятор напруги; 4.2 – трансформатор; 4.3 – випрямляч; 4.4 смісно-індуктивні фільтри; 4.5 – датчики системи контролю та управління розрядом; 5.1 – система контролю тліючого розряду; 5.2 – система управління розрядом; 5.3 – система контролю температури

В блоках живлення зі змінним струмом можливі варіанти відсічки повністю, або частково однієї з ліній живлення (як правило, позитивної, якщо використовується процес з прямою полярністю). Відсутність такої відсічки сприяє збільшенню нагрівання аноду, що призводить до зниження інтенсивності процесу. Однак таке явище може приводити до пом'якшення самого процесу азотування, отримання відповідно – кращих показників пластичності модифікованого шару. Певного зниження негативного впливу позитивної фази на процес азотування можна досягти асиметрією форми напруги за рахунок зміщення її середнього значення у негативну зону. В принциповому плані форма напруги може бути синусоїдальною, прямокутною або довільною аж до запрограмованої її зміни. Вплив форми сигналу на процес формування модифікованого поверхневого шару потребує окремого дослідження. Очевидно, що використання прямокутної форми напруги при інших незмінних параметрах забезпечує більшу енергонасиченість падаючого потоку, відповідно – більшу жорсткість режиму, при меншій тривалості обробки. Найбільш простим є варіант використання трансформованої напруги промислової частоти, що в певній мірі схоже за принципом (виключаючи дію позитивної фази) до азотування з переривчастим живленням.

Азотування при постійному живленні також має суттєвий недолік технологічного плану. Він полягає в підвищеній складності формування садки. Це, насамперед пов'язане з тим, що в усіх місцях де є щілини більше 0,5 мм, виникає локальне горіння розряду, проте вже в режимі дугового. Це призводить до локального перегрівання деталей, а в деяких випадках – просто до неможливості ведення процесу, оскільки при спробі підвищити напругу в таких місцях виникає дуга. Необхідність врахування зазначеної обставини ускладнює конструкцію підвісок чи столів, котрі забезпечували б щільне базування деталей на них. Проте навіть при виконанні умов щільного базування деталей на столі наявність фасок на опорних поверхнях спричиняє теж певну проблему, оскільки вони разом з опорною поверхнею стола формують клиноподібну щілину. Іншим недоліком, особливо в порівнянні з пічним азотуванням, є низька ефективність модифікації отворів, особливо – малого діаметру, з відносно великою їх довжиною (з теорії розряду з пустотілим катодом відомо, що напруженість поля в отворі практично дорівнює нулю на глибині більше двох діаметрів), що ще раз свідчить про доречність застосування технології азотування в тліючому розряді з використанням переривчастого живлення – циклічно комутованого розряду.

Застосування циклічно комутованого розряду живлення розрядної камери, яке здійснюється струмом у формі переривчастого сигналу, вносить ряд суттєвих переваг:

- можливість формування такого ЦКР, при якому тривалість сигналу в циклі не перевершує часу переходу тліючого розряду в дуговий, тривалість паузи – не менше часу згасання дугового розряду, у випадку його виникнення, що відкидає необхідність в пристроях автоматичного відсікання дугового розряду, або вони можуть використовуватись по схемі з надзвичайно спрощеним алгоритмом;
- значно спрощується процес формування садки, оскільки практично зникає необхідність

дотримання вимог щодо щілин та глибоких отворів;

- з'являється можливість азотувати отвори невеликого діаметру при відносно значній їх глибині;

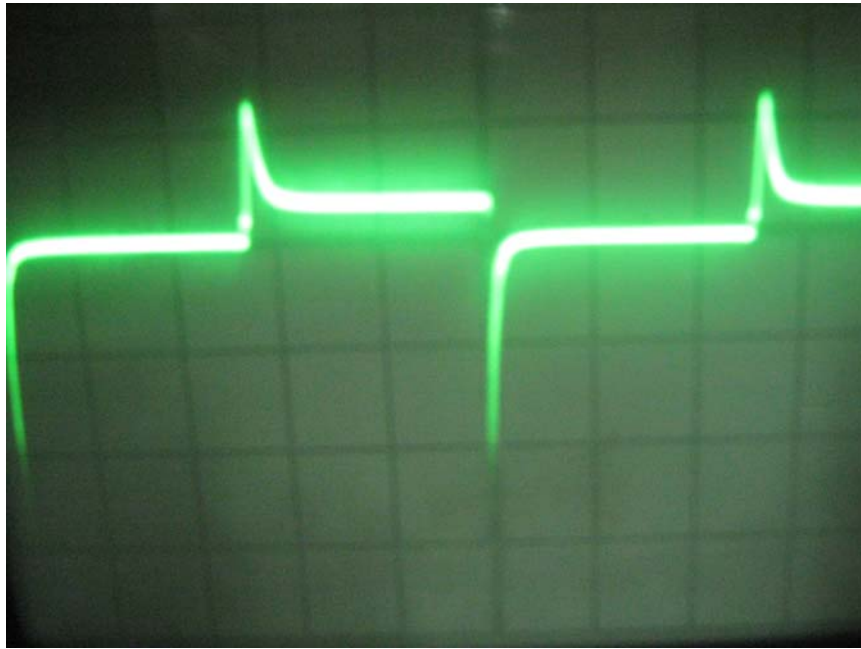


Рис. 2. Форма зміни струму розряду при циклічно комутованому розряді прямокутної форми з шпаркуватістю $\gamma = 2$

Як недолік при використанні ЦКР слід відмітити, що передача енергії падаючому потоку проходить тільки в тій частині циклу, де діє сигнал, і ефективність процесу нижча, а в деяких випадках фаза азотування в два і навіть більше разів триваліша, ніж при безперервному розряді. Характер зміни струму при циклічно комутованому розряді показано на рис. 2, напруги – на рис. 3.

Однак в цілому процес модифікації поверхні в циклічно комутованому розряді відкриває нові можливості, пов'язані з варіантами самого ЦКР, який характеризується: частотою, періодом та формою імпульсу. Реалізація процесу регулювання частоти комутації, шпаркуватості – відношення періоду циклу до тривалості сигналу, та форми самого сигналу відкриває широкі можливості суттєво впливати на результати обробки поверхні.

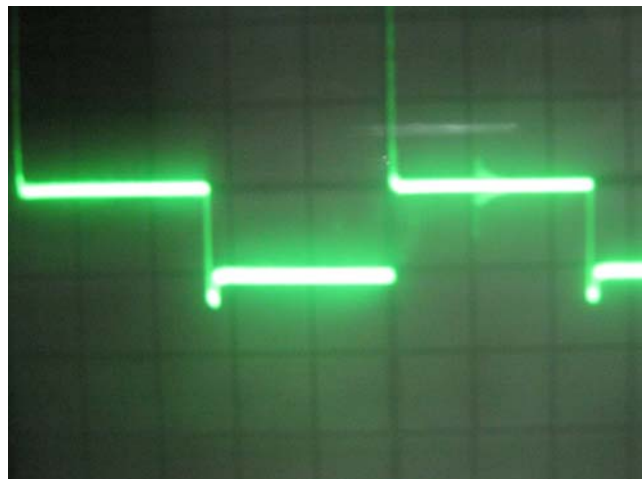


Рис. 3. Форма зміни напруги розряду при циклічно комутованому розряді прямокутної форми з шпаркуватістю $\gamma = 2$

Вплив форми сигналу живлення розряду на кінетику процесу азотування та його результати відкриває широкі можливості для дослідження самого процесу. Наявність сплесків на початку та в кінці циклів в принципі може суттєво впливати як на характер самого процесу азотування, так і на структуру та фазовий склад модифікованого поверхневого шару, оскільки короточасні та достатньо потужні сплески напруги повинні призводити до інтенсивного розпорощення поверхні. Руйнування моношару нітридів, які щойно утворились на поверхні, сприятиме збільшенню глибини азотованого шару за рахунок дифузії часток азоту, а також нівелюватиме до певної міри блокуючий ефект поверхневих нітридних шарів.

Висновки. Використання в технології азотування в тліючому розряді циклічно комутованого розряду дозволяє отримати регульовані, і навіть прогнозовані процеси модифікації поверхонь металів та сплавів, формування поверхневих шарів з заданими властивостями, особливо для деталей складної конфігурації.

Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
2. Пастух И. М. Модификация металлов с применением азотирования в тлеющем разряде: состояние и перспективы // Проблемы трибологии. – 2004. – № 4. – С. 42-55.
3. Пастух И. М., Андреева А. А., Шулаев В. М. Вакуумно-диффузионная обработка поверхности

металлов с применением тлеющего и дугового разрядов в газах // Новые процессы термической обработки. Библиотека ОТТОМ. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2004. – С. 5-57.

4. Пастух І. М., Лук'янюк М. В. Азотування в циклічно комутованому тліючому розряді: початкові положення // Вісник ХНУ. – 2008. – № 6. – С. 38-41.

5. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.

Надійшла 15.2.2010 р.

УДК 621.81: (621.891+620.194)

І. М. ПАСТУХ, В.С. КУРСКОЙ
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ КОНТАКТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХОНЬ

Запропонована модель контакту мікроелементів, які утворюють поверхню, з використанням форми параболоїдів.

The model of contact surface microelements, build a surface, is offered, with the use paraboloids form.

Ключові слова: поверхня, модель, контакт, сили в контакті.

Вступ та постановка задачі.

Задача контакту поверхонь з'єднань, критерій працездатності яких в основному становить фретингостійкість [1], є чи не центральною в дослідженні процесів тертя взагалі та фретингу в особливості. Справа, насамперед, полягає в тому, що форма та розміри поверхні контакту впливають не тільки на номінальну величину площі контакту, але, що, можливо, ще більш суттєво – на розподіл контактних напружень. Оскільки характер взаємодії двох поверхонь передбачає як пружні деформації, так і переходить в область пластичних, то по можливості точне визначення контактних напружень в цьому сенсі відіграє вирішальну роль.

Аналіз стану задачі. Макропрофіль поверхонь існує як математичне поняття, тобто якщо мова йде, наприклад, про ідеально плоску поверхню, описану відповідним рівнянням, то в дійсності ця субстанція представляє собою надзвичайно складну структуру, причому ступінь складності залежить від того, на якому рівні її розглядають: макро-, мікро- чи нанорівні. Реально дві поверхні контактують опосередковано на рівні мікроелементів (МЕ). Можливі різні варіанти математичного опису поверхні МЕ: сфера, коноїд, еліпсоїд, в тому числі – еліпсоїд обертання, окремим випадком якого є сфера, двополюсний гіперболоїд, циліндрична поверхня різних типів, еліптичний параболоїд. Сферичною поверхнею доцільно моделювати макроповерхні. Коноїд не має закругленої вершини, що не зовсім відповідає реальній формі МЕ (див. нижче) та призводить до принципового спотворення картини контакту з умовно ідеальною площиною, яка характеризується, насамперед, значно більшою довжиною хвилі макропрофілю. Еліпсоїд при розташуванні більшої осі по дотичній до номінальної поверхні, яка формально описує геометричне місце точок границі між твердим тілом та його оточенням, може відображати певні МЕ, що мають симетрію стосовно цієї осі. При нормальному до номінальної поверхні розташуванні більшої осі еліпсоїда, він може моделювати гострі МЕ, але симетричні відносно нормалі до поверхні. Двополюсний гіперболоїд ускладнює математичне оперування з моделлю, оскільки потрібно штучно відсікати одну частину.

В принциповому плані може використовуватись два типи еліптичних параболоїдних моделей відображення МЕ. В першому варіанті кожний МЕ відображається з індивідуальними параметрами висоти, півосей основи, тобто кожний реальний МЕ має унікальний математичний опис. При цьому еліпс основи параболоїда може орієнтуватись великою віссю вздовж напрямку траси ідентифікації або перпендикулярно до неї. Цей тип моделі придатний для використання упорядкованих структур, елементи яких суттєво не відрізняються один від іншого. У другому типі кожний МЕ відображається як різновид одного базового параболоїда, розміри якого в напрямку траси ідентифікації при різній висоті моделюються за рахунок зміни кутвої орієнтації МЕ на цій трасі. В принципі цей тип придатний для моделювання будь-якої поверхні, сформованої випадковим шляхом, проте існує певний жорсткий взаємозв'язок між характеристиками мікропрофілю вздовж та поперек траси ідентифікації, що в певній мірі може бути суттєвою передумовою, якщо виходити з концепції формування поверхні випадковим чином, хоча і з врахуванням статистично оброблених характеристик мікропрофілю.

Основні положення моделі. В підтвердження правомірності використання параболоїдної моделі наведемо рис. 1, на якому показана поверхня попередньо відполірованої міді з наступним бомбардуванням її іонами (збільшення на електронному мікроскопі 3000 раз) [2]. Частина МЕ цієї поверхні (на передньому плані) мають вершини, які зруйновані бомбардуванням. Проте основа їх, як і тих, що на задньому плані, за формою відповідають параболоїдам. Використання в якості прототипу МЕ поверхні еліптичного параболоїда відкриває можливість для однотипного математичного опису форми, оскільки в основу концепції передбачається покласти базовий еліптичний параболоїд (ЕП), форма якого показана на рис. 2, а рівняння має вигляд