

## ОТРИМАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СКЛАДНОГО КАТОДНОГО ВУЗЛА ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ПЛАЗМИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського  
 «Харківський авіаційний інститут»

Вимоги підвищення працездатності деталей машин та обробного інструменту у різних галузях промисловості висувають особливі умови до формування їх поверхневих шарів. Останнім часом при створенні покриттів з підвищеними функціональними характеристиками все частіше застосовують багатокомпонентні покриття. Для цього використовують композиційні катоди (системи Co-Cr-Fe-Ni-Mn [1], Zr-Ti-Na-Hf-V-Nb [2] та ін.). Кількість видів багатокомпонентних покриттів, в тому числі багат шарових, градієнтних, наноструктурних, доступних на інструментальному ринку, наразі нараховується більше сотні [3, 4].

В роботі наведено конструкцію і описано принцип дії розробленого імпульсного вакуумно-дугового джерела плазми (рис. 1) зі складовим катодним вузлом (рис. 2) для отримання багатокомпонентних покриттів.

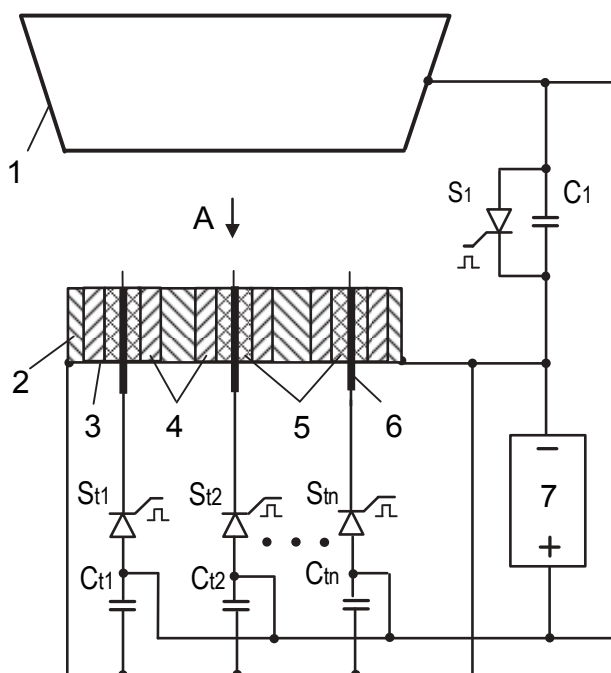


Рис. 1. Імпульсне вакуумно-дугове джерело плазми зі складовим катодним вузлом:  
 1 – анод; 2 – основа катодного вузла; 3 – торець складного катоду, що охолоджується; 4 – циліндричні вставки у з металів, що входять до складу покриття;  
 5 – ізолятор; 6 – підпалюючий електрод; 7 – джерело живлення

При розробці імпульсного вакуумно-дугового джерела плазми зі складовим катодом було здійснено наступне:

1. Забезпечено ефективне охолодження складового катодного вузла за рахунок виконанні основи катоду з металу з високою теплопровідністю. Додатково ефективному охолодженню вставок сприяє їх рівномірне розташування (на одній і тій же відстані одна від

одної) по концентричних колах відносно осі основи. Такий режим охолодження вставок при роботі катодного вузла створює їх низку температуру, близьку до температури охолоджувальної рідини, що, відповідно, приводить до зменшення кількості крапель у плазмовому потоці джерела плазми, тобто отримання покриттів високої якості.

2. Ресурс системи ініціювання вакуумної дуги на складовому катодному вузлі джерела плазми збільшено у  $N$  разів, де  $N$  – кількість застосованих вузлів підпалювання, що в стільки ж разів підвищує надійність джерела плазми з запропонованим катодним вузлом. Більш того, таке технічне рішення дозволяє джерелу плазми працювати в імпульсному режимі з тривалістю імпульсів у мікросекундному діапазоні. Це, в свою чергу, забезпечує зменшення, порівняно зі стаціонарною дугою, кількості макрокрапель у плазмовому потоці, який потрапляє на підкладку і формуванню якісних покриттів.

3. Розроблено методику визначення тривалості імпульсів дуги на втулках з різних металів [5], коли катодна пляма дуги існує тільки на робочому торці втулки (ця умова забезпечує відсутність несанкціонованого потрапляння матеріалів складового катода до покриття).

4. Показано взаємозв'язок між вмістом матеріалу вставок у покритті і їх фізико-технічними характеристиками та параметрами вакуумно-дугових імпульсних розрядів, які виникають на робочій поверхні втулок.

Запропонований складовий катодний вузол (рис. 2) має основу, виконану з металу, що має високу теплопровідність, у вигляді циліндра з торцями, один з яких охолоджується (3). В основі катода виконані наскрізні отвори, які розташовані рівномірно по концентричним колах відносно осі основи 8 і 9 і в які вмонтовані циліндричні вставки з металів, що входять до складу покриття. Вставки мають форму втулок і довжину, однакову з товщиною основи та вакуумно щільно вмонтовані у основу. Всередину кожної втулки щільно вмонтовано ізолятор з підпалюючим електродом. У випадку, коли матеріал основи входить до складу покриття, замість, як мінімум одного отвору для втулки, у циліндричній основі виконано отвори, в якій вакуумно щільно вмонтовано ізолятори з підпалюючим електродом.

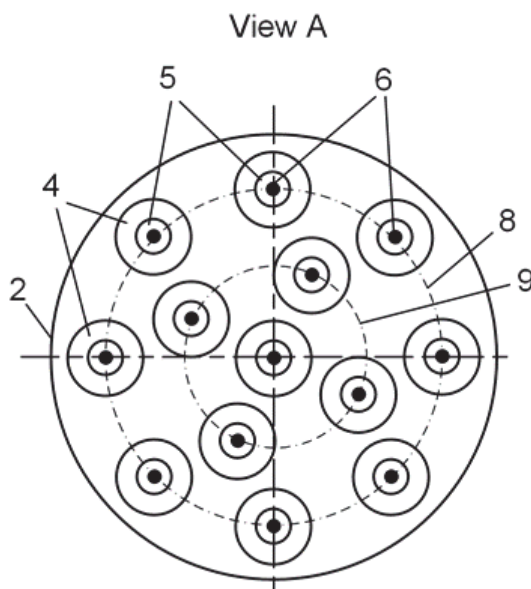


Рис. 2. Складовий катодний вузол імпульсного джерела плазми:  
8,9 – концентричні кола, по яким рівномірно розміщені вставки;  
інші позиції як на рис. 1

Для випробувань було виготовлено складовий катод згідно рис. 2, якій містив 13 вставок: вісім з титану, розміщених по концентричному відносно осі основи колу 8; чотири з цирконію, розміщених по концентричному відносно осі основи колу 9 і одна

з молібдену, яка була розміщена у центрі основи. Для забезпечення герметичності між робочим торцем і торцем, що охолоджується, складового катодного вузла він виготовлявся в такий спосіб. Спочатку на металеві втулки 4, ізолятори 5 (трубки з кераміки 22ХС) і підпалюючи електроди 6 наносили у зоні їх поєднання шар сполучного матеріалу, в якості якого використовували силікат натрію ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Після витримки цих елементів при кімнатній температурі протягом години, їх поєднували і в такому зібраному вигляді поміщали в муфельну піч шахтного типу, в якій поступово підвищували температуру до  $1200^\circ\text{C}$ . Після витримки при цій температурі протягом 30 хв. і наступного остигання, вузли з елементів 4, 5, 6. були готовими. На наступному етапі виготовлені вузли запресовували в отвори основи катоду 2 по посадці з натягом, яка забезпечує герметичність. На цьому процес виготовлення складового катодного вузла завершувався.

Після встановлення виготовленого складового катодного вузла у вакуумно-дугове джерело плазми його (джерело) встановлювали на вакуумну камеру установки «Булат-6», в якій були розміщені чотири зразки і на які здійснювалось осадження покриттів. Вакуумну камеру відкачували до робочого тиску ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) і подавали напругу на анод 1 і складовий катод 2 джерела плазми від формуючої лінії (на рис. 1 умовно позначено  $C_1$ ), яка заряджалась від джерела живлення 7. Після цього здійснювали осадження покриття на зразки, збуджуючі пускові імпульсні розряди по робочій поверхні ізоляторів 5 послідовним вмиканням комутуючих елементів  $S_1 \dots S_m$ . В нашому випадку застосовувався алгоритм послідовного збудження вакуумно-дугового розряду на вставках з плазмоутворюючих матеріалів. Слід відмітити, що зміною алгоритму збудження вакуумної дуги на вставках складового катоду з різних металів можливо в широкому діапазоні змінювати склад отриманих покриттів. Наведений на рис. 1 комутуючий елемент  $S_i$  забезпечував необхідну тривалість імпульсів для кожної групи вставок з одного металу,

Практичні випробування розробленого джерела плазми у режим нанесення покриттів: амплітудне значення струму дуги – 450 А, тривалість імпульсів дуги на титані та цирконію – 50 мкс, на молібдені – 45 мкс, на алюмінії – 330 мкс, частота проходження імпульсів – 25...500 Гц, час нанесення покриттів 30 хв. показали, що отриманні багатокомпонентні покриття мають товщину близько 4 мкм і вміст компонент у складі покриттів, який вивчався за допомогою електронного мікроскопа РЕМ-106 із системою енергодисперсного мікроанализу, пропорційний сумарній тривалості знаходження імпульсного вакуумно-дугового розряду на них.

## Список використаних джерел

1. Stepanov, N. D. Effect of carbon content and annealing on structure and hardness of the CoCrFeNiMn-based high entropy alloys / N. D. Stepanov, N. Yurchenko, M. Tikhonovsky, G. Salishchev // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2016. – Vol. 687. – P. 59–71.
2. Соболев, О. В. Вплив тиску робочої атмосфери на формування вакуумно-дугових покриттів ZrN та (Zr-Ti-Na-Hf-V-Nb)N / О. В. Соболев, А. О. Андреев, І. В. Сердюк, та ін. // *Вісн. Націон. Техн. ун-ту «ХПІ», серія «Механіко-технологічні системи та комплекси»*. – 2014. – № 60. – С. 9-14.
3. Cselle, T. Dedication – Integration – Offenheit / T. Cselle // *Werkzeug Technik*. – 2011. – № 118. – P. 2–7.
4. Каталог фірми PLATIT // PLATIT AG, 2012. – 108 с.