

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ІМПУЛЬСІВ ДУГИ НА ЕЛЕМЕНТАХ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ СКЛАДОВОГО КАТОДА ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ПЛАЗМИ

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

Для отримання якісних багатоелементних покриттів необхідно, по-перше, створювати багатоелементну плазму, що можна зробити використанням складових катодів з елементів (зазвичай, вони виконані у вигляді втулок з різних металів), які входять до складу покриття [1], по-друге, застосовувати імпульсний режим роботи вакуумно-дугових джерел плазми, в якому кількість крапель матеріалу катода у плазмі, що генерується, у порівнянні зі стаціонарним режимом, набагато менше [2].

Збудження імпульсної вакуумної дуги за допомогою ізолятора з підпалюючим електродом на робочому торці втулки складового катода приводить до випаровування металу, з якого зроблена втулка, і потраплянню його до покриття. Досягти умов, коли катодна пляма дуги існує тільки на робочому торці втулки (ця умова забезпечує відсутність несанкціонованого потрапляння матеріалів складового катода до покриття), можливо виключно в імпульсному режимі горіння вакуумної дуги при тривалості імпульсів не більш часу, потрібного для проходження катодної плями проміжку від місця її виникнення (межа на робочій поверхні втулки між її внутрішньою поверхнею і ізолятором) до межі між її зовнішньої поверхнею і поверхнею основи. Оскільки величина такого проміжку мала (декілька міліметрів), а швидкість руху катодної плями може досягати декілька десятків метрів у секунду [3], то тривалість імпульсів вакуумної дуги не може перевершувати декілька десятків мікросекунд. Треба враховувати також те, що швидкість руху катодної плями залежить від фізико-технічних характеристик матеріалу, на якому вона існує і величини магнітного поля, яке зазвичай присутнє у джерелах плазми для фокусування плазмового потоку на тримач підкладки, а також ряду інших обставин. Тому тривалість дугового розряду на вставках з різних металів для виконання умови її існування тільки на робочій поверхні втулок буде різною.

Для визначення тривалості імпульсів дуги, коли катодна пляма існує тільки на робочій поверхні втулки, для різних матеріалів втулок було виконано серію таких експериментів. Виготовлялись катоди, у яких в основу були вмонтовані втулки (всього 13 втулок) тільки з одного із матеріалів – титану, цирконію або молібдену. Основа являла собою циліндр з алюмінію діаметром 60 мм і товщиною 10 мм. Після установки такого катода в імпульсне джерело плазми і розміщенні зразка на тримачі підкладки, він починав працювати 15 хвилин в режимі збудження імпульсної дуги тільки на одній вставці при тривалості імпульсів дуги 30 мкс, коли гарантовано катодна пляма дуги існувала тільки на робочій поверхні вставки. Далі, за допомогою системи енергодисперсного мікроаналізу електронного мікроскопа РЕМ-106 досліджувався склад покриття на отриманому зразку. Коли в покритті був відсутній алюміній, процес повторювали – в вакуумну камеру загрузався інший зразок, і нанесення покриття здійснювалось при роботі катодного вузла на наступній вставці при збільшуваній на 5 мкс тривалості імпульсного дугового розряду. Тривалість імпульсів вакуумної дуги регулювалася комутуючим елементом (тиристором), якій з'єднував анод і катод джерела плазми. Спрацьовування такого тиристора приводило до припинення дугового розряду.

Так відбувалося до моменту, поки в покритті на зразку не з'являвся алюміній. Після цього визначали максимальну тривалість імпульсів дуги на даному матеріалі вставці, коли

катодна пляма імпульсної дуги існує тільки на робочій поверхні вставки, як останню тривалість імпульсів, при якій в покритті на зразках був відсутній алюміній. Виконані дослідження показали, що матеріал основи не з'являється у покритті зразків при максимальній тривалості імпульсів дуги: на втулках з титану і цирконію – 50 мкс; на втулках з молібдену – 45 мкс.

У випадку, коли до складу покриття входив матеріал основи (алюміній), використовувалась конструкція катодного вузла, в якій замість втулок встановлювались тільки ізолятори з підпалюючим електродом. У цьому разі, оскільки швидкість руху катодної плями на алюмінії на порядок менше ніж на титані, цирконії і молібдені [3], то тривалість імпульсів дуги на алюмінії треба значно збільшувати. Це пов'язано з тим, що при великій різниці у швидкості руху катодної плями на матеріалах при однакової тривалості імпульсів вакуумної дуги буде спостерігатися суттєва різниця у розмірах зон вироблення (випаровування) на вставках з цих металів. Так, при однакової тривалості імпульсів вакуумної дуги у 50 мкс ширина зони вироблення на вставці з титану буде становити близько 2,5 мм, а на вставці з алюмінію ширина цієї зони не буде перевищувати 0,15 мм. Така мала зона вироблення на вставці з алюмінію буде призводити до швидкого її вироблення і занурення катодної плями вглиб вставки. Це, у свою чергу, буде призводити до зниження надійності збудження вакуумної дуги на ній і пропускам імпульсів дуги на вставці. Такий процес є небажаним, оскільки неконтрольовано буде зменшувати вміст алюмінію у покритті.

Для запобігання цьому явищу треба збільшувати зону вироблення на матеріалі з низькою швидкістю пересування катодної плями. (у цьому випадку – на алюмінії). Це можна зробити, збільшуючи тривалість імпульсів вакуумної дуги на такому матеріалі. Так, при збільшенні тривалості імпульсів дуги на вставці з алюмінію до 665 мкс, отримуємо зону вироблення на ній близьку до 2 мм, що вже є прийнятним.

Імпульсний режим роботи джерела плазми при визначених тривалостях дуги забезпечує вироблення тільки матеріалів вставок при мінімальній кількості краплин, які потрапляють у покриття. Більш того, при виробленні вставок стінки, які утворюються, перешкоджають потраплянню крапель у генерований плазмовий потік [1], що покращує якість покриттів.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження визначили тривалості імпульсів вакуумної дуги на вставках з різних матеріалів, коли здійснюється вироблення тільки матеріалу цих вставок, що дозволяє отримувати багатокомпонентні покриття заданого складу при високій їх якості.

Список використаних джерел

1. Андреев, А. О. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів : підруч. / А. О. Андреев, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоєв. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 288 с.