

ВАКУУМНА ПАЙКА ВИРОБІВ У ВАКУУМНО-ДУГОВІЙ УСТАНОВЦІ¹⁷

Погребняк К.В., студент групи МС-36т1-21
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянуто варіанти модернізації вакуумно-дугової установки типу «БУЛАТ-6» для нагрівання та паяння деталей у вакуумі. Показано методики паяння на срібні припої при нагріванні виробів іонами металів. Використання Cu в якості матеріалу припою можливе лише при модернізації установки та використанні двоступінчастого розряду. Це дозволило припаювати Cr, Mo, Zr, W, Ti та інші тугоплавкі матеріали один з одним без використання флюсів.*

***Ключові слова:** вакуумно-дугові установки, двоступінчастий розряд, катоди, тугоплавкі матеріали.*

VACUUM SOLDERING OF PRODUCTS IN A VACUUM ARC INSTALLATION

Pogrebnyak K., student of group МС-36т1-21
Kharkiv National Automobile and Highway University

***Abstract.** The variants of modernization of vacuum-arc installation type «Bulat-6» for heating and soldering parts in a vacuum were considered. Techniques for silver brazing filler metals during heating product with metal ions were listed. Using Cu as the solder material is possible only at modernizing installation and using a two-stage discharge. This allowed to solder Cr, Mo, Zr, W, Ti and other refractory materials with each other without using of flux.*

***Keywords:** vacuum-arc installation, two-stage discharge, cathodes, refractory materials.*

Вступ

Вакуумно-дуговий метод широко застосовується для нанесення покриттів, що володіють високими фізико-механічними характеристиками [1]. Зазвичай вакуумно-дугові установки найчастіше застосовуються для нанесення зносостійких покриттів з нітридів тугоплавких металів для збільшення терміну служби різальних інструментів і деталей машин [1]. Широко застосовуються вакуумно-дугові технології нанесення захисно-декоративних покриттів.

Плазма, що генерується вакуумно-дуговим розрядом, крім нанесення покриттів може також використовуватися для паяння невеликих металевих частин [2].

Вакуумне паяння титанових деталей, застосовується в аерокосмічній, автомобільній та іншій техніці є дорогим і енерговитратним процесом [3]. У той час як пайка титану широко використовується в промисловості, пайка хрому застосовується рідко через його високу активність і утворення стабільних поверхневих оксидів, утворення яких починається вже при температурі 538 ° С навіть при тиску 10^{-4} Торр (0,013 Па) [4]. Тому паяння хромових деталей вимагає більше високого вакууму і малої тривалості процесу при найбільш можливій низькій температурі.

Найбільш широко застосовуваними покриттями у вакуумно-дуговому методі зміцнення поверхні є нітриди тугоплавких матеріалів. Виготовлення катодів з багатокомпонентних порошкових або литих сплавів, а також тугоплавких (хрому, молібдену, вольфраму, цирконію,

¹⁷ Робота виконана під керівництвом професора Столбового В.О.

титану) матеріалів іноді викликає складність або в принципі неможливо. Тому при виготовленні катодів з таких матеріалів можливо застосувати вакуумну пайку.

У машинобудуванні існують установки, що дозволяють виробляти вакуумну пайку деталей [3, 4]. Це обладнання є дуже дорогим і для більшості ділянок з нанесення вакуумно-дугових покриттів, які розташовуються на інструментальних та машинобудівних заводах, його використання нерентабельне.

Тому модернізація вакуумно-дугового обладнання для паяння матеріалів, що випаровуються (катодів) є актуальним завданням.

Експериментальна частина

Відомо, що випаровувані матеріали (катоди) вимагають інтенсивного водного охолодження, тому для їх вакуумного ущільнення застосовуються різьбові або байонетні елементи. Найбільш дешевим і універсальним матеріалом для нанесення зносостійких покриттів є титан, який допускає нарізання різьби для вузла вакуумного ущільнення, однак при цьому безповоротні втрати катода складають близько 15 мм при загальній довжині катода порядку 30-40 мм. Інші випаровувані матеріали, такі, наприклад, як хром, молібден, вольфрам значно більш дорогі або через високу крихкість або твердість взагалі не допускають нарізання різьби або виготовлення байонетного з'єднання. Крім того, випаровуваний матеріал може бути пористим (наприклад, графіт) або мати наскрізні тріщини, крізь які може протікати охолоджуюча рідина. На рис. 1, як приклад, показаний катод з тріщинами з припаяною різьбовою частиною.

У зв'язку з цим необхідно, щоб катодна система складалася з двох частин: різьбової і випаровуваної, які можна з'єднати за допомогою припою. При виготовленні катода на більшому торці його випаровуваної частини робиться виточення глибиною 1,5 ... 2 мм (рис. 2). Різьбову частину катода виготовляють з міді, якщо при пайці використовується мідно-срібний припій, наприклад, марки ПСр45. Однак на практиці найчастіше використовують раніше відпрацьований катод з титану, з якого виточують різьбову частину по діаметру виточки в основній частині катода (рис.2). В останньому випадку в якості припою використовується мідна фольга 0,2 ... 0,4 мм [5].



Рисунок 1 - Фотографія паяного хромового катода з тріщинами

Попередньо поверхня катода і фольга ретельно поліруються, потім промиваються в лужному середовищі ультразвукової ванні з наступним промиванням у чистій воді. Остаточне промивання здійснюється нефрасом марки С20/80.



а
б
Рисунок 2 - Катод з молібдену (а), катод з графіту (б)

Мідна фольга розташовується в поглибленні на основній частині катода, зверху встановлюють різьбову частину. Для поліпшення якості пайки на деталі встановлюється навантаження зазвичай зі сталі, що забезпечує притиснення деталей.

Для забезпечення більш високої якості пайки мідно-срібним припоєм для їх кращої змочуваності припоєм поверхні основної і різьбової частин катода попередньо покривають шаром міді товщиною 2 ... 3 мкм вакуумно-дуговим методом в цій же установці.

У промисловості вакуумна пайка титанових деталей застосовується в аерокосмічній, автомобільній та іншій техніці є дорогим і енерговитратним процесом. У той час, як пайка титану широко використовується у виробництві, пайка хрому застосовується рідко через його високу активність і присутність стабільних поверхневих оксидів, утворення яких починається вже при температурі 538°C навіть при тиску 0,013 Па. Тому пайка хромових деталей вимагає більш високого вакууму і малої тривалості процесу при найбільш можливій низькій температурі.

Тому пайку елементів катода здійснювали у вакуумно-дуговій установці «БУЛАТ-6». Попередня відкачка камери здійснювалася до $P = 0,005$ Па.

Існують три схеми включення установки при пайці елементів катода в вакуумно-дуговій установці типу «БУЛАТ-6»: пайка при прямому плазмовому потоці, пайка в двухступеновому розряді при негативному потенціалі, пайка в двухступеновому розряді при позитивному потенціалі.

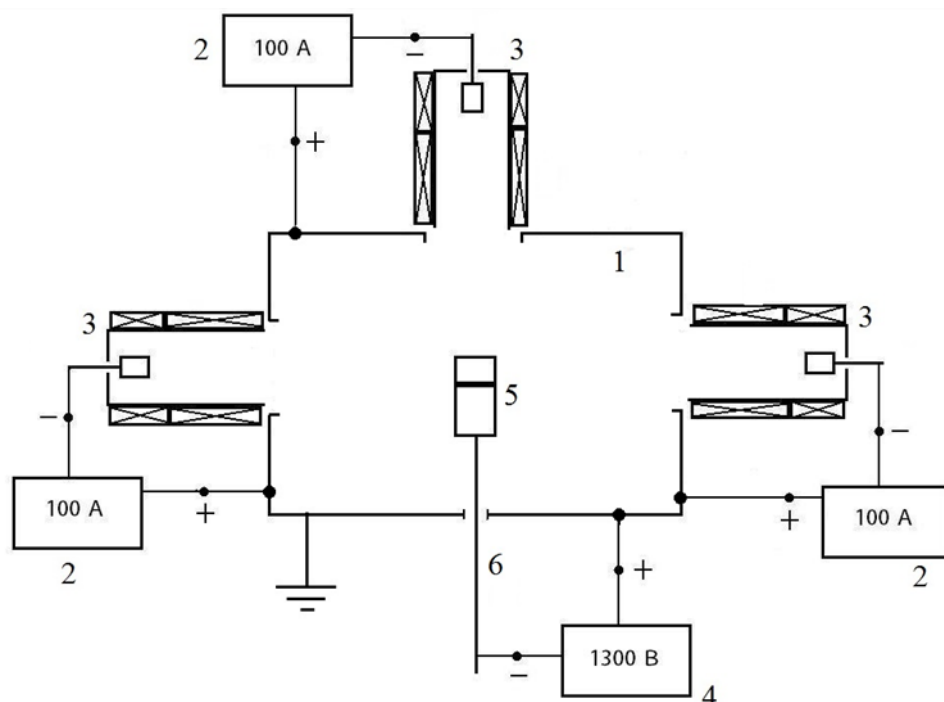
Пайка елементів катода при прямому плазмовому потоці

Пайка елементів катода при прямому плазмовому потоці, що дає можливість без будь-яких змін у вакуумно-дуговій установці проводити пайку.

Завдяки процесам взаємодії іонів із поверхнею деталі відбувається її нагрівання внаслідок високого ступеня іонізації плазми та високого негативного потенціалу на ній. Енергія іонів є основним фактором, що впливає на швидкість (інтенсивність) нагрівання.

На рис. 3 представлена схема вакуумно-дугової установки «БУЛАТ-6», яка використовувалась для пайки деталей на прямому плазмовому потоці. Вона включає в себе вакуумну камеру 1; три джерела живлення випарників 2; три випарника 3; джерело високовольтної напруги 4; припаювані деталі 5; підкладкотримач (поворотний пристрій) 6.

При включенні одного випарника виникають потоки металевої плазми, спрямовані в бік деталі, розташованої в центрі вакуумної камери на обертовому підкладкотримачі. При подачі на деталі негативного потенціалу $-1100...-1300$ В відбувається інтенсивне їх нагрівання. При цьому швидкість нагріву і максимальна температура залежить від кількості джерел дуги і їх відстані до деталей, що спаюються. При включенні трьох джерел дуги при 100 А в кожному інтенсивність розігріву деталей збільшується. Час до розплаву ПСР-45 досягає 20-30 хвилин в залежності від маси деталей, що спаюються.



- 1 - вакуумна камера; 2 - джерела живлення випарників; 3 - вакуумно-дугові випарники;
4 - джерело високовольтної напруги; 5 - деталі що припаюються; 6 - підкладкотримач (поворотний пристрій)

Рисунок 3 - Схема вакуумно-дугової установки для пайки деталей на прямому плазмовому потоці

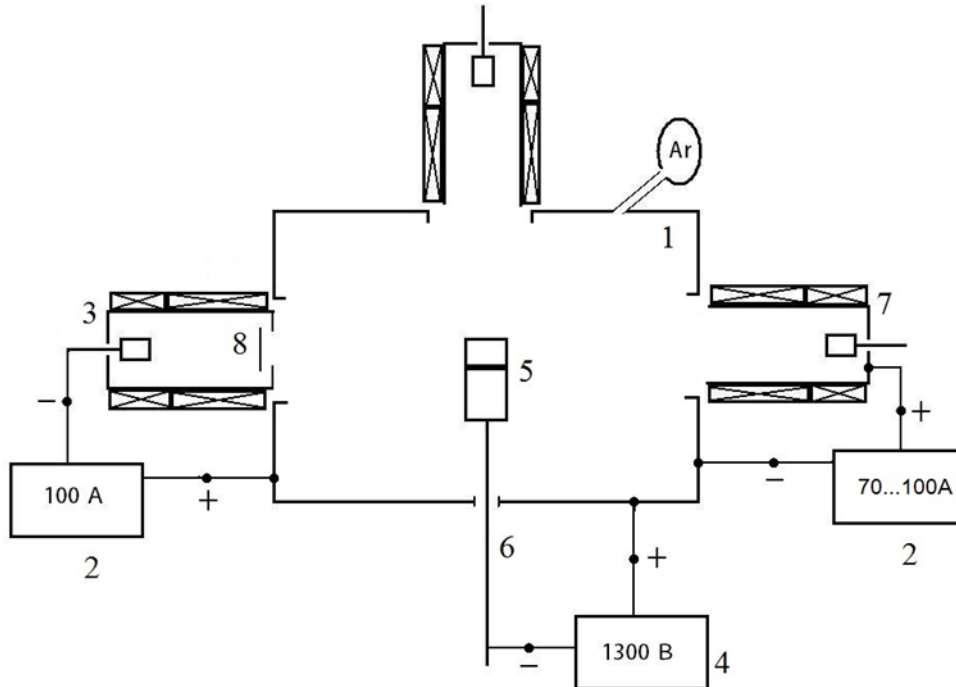
Пайка в дуговому розряді при негативному потенціалі

Процес пайки в дуговому розряді при негативному потенціалі здійснювався у двоступеневому вакуумно-дуговому розряді (ДВДР), що являє собою розряд, в якому дугова плазма поділяється на два ступені, перша з яких представляє собою вакуумну дугу з холодним катодом, а друга ступінь це позитивний дуговий розряду в плазмі газу низького тиску [1]. Виріб, що нагрівається, знаходиться в області газової плазми.

На рис. 4 наведено схему модернізації установки для формування ДВДР. На виході випарника 3 встановлений екран у вигляді системи дисків (або жалюзі) 8, який пропускає частинки газу (азоту або аргону) і електрони, і затримує випаровувані атоми катода. Випаровані з поверхні катода 3 частки металу не можуть проникнути в об'єм вакуумної камери 1, і осідають на поверхні об'єму 8. При цьому корпус протилежно розташованого випарника 7 електрично ізольований від корпусу камери, і до нього підключений позитивний полюс блоку живлення дуги 2. На деталі 5 від високовольтного джерела подається негативний потенціал близько 1300 В.

При досягненні тиску 0,003 Па у вакуумну камеру 1 напускають азот (або аргон) до тиску близько 0,5 Па, включають дугові джерела 2, і високовольтне джерело 4. Для рівномірного прогрівання деталей 5 включається поворотний пристрій 6.

У вакуумній камері 1 виникає газовий дуговий розряд, іони газу бомбардують і нагрівають припаювані деталі. Час нагріву до розплаву припою також залежить від маси деталей. Час розплаву припою ПСР-45 зазвичай становить 20-25 хв. (рис. 5).



1 - вакуумна камера (область з газовою плазмою); 2 - джерела живлення випарників; 3 - вакуумно-дуговий випарник; 4 - джерело високовольтної напруги; 5 - зпаювані деталі; 6 - підкладкотримач (поворотний пристрій); 7 - вакуумно-дуговий випарник; 8 - екран (жалюзі)

Рисунок 4 - Схема вакуумно-дугової установки для пайки деталей за допомогою двоступеневого розряду

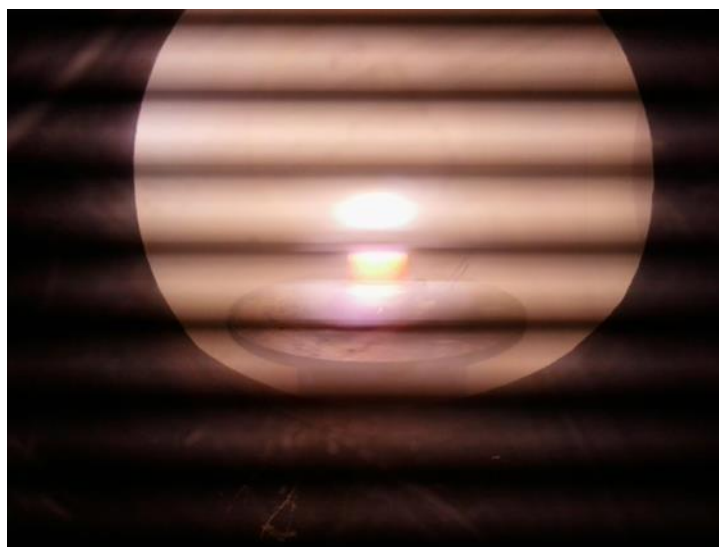


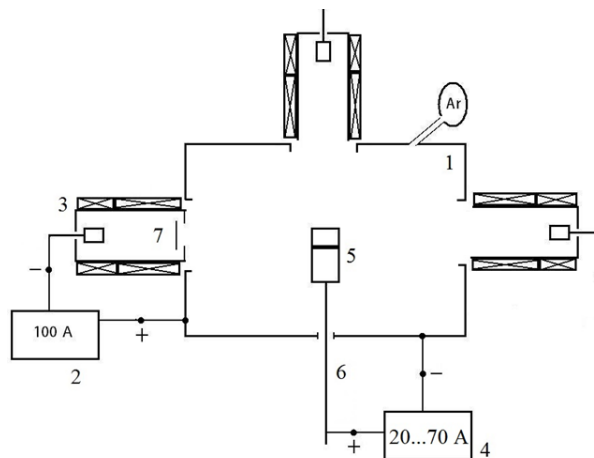
Рисунок 5 - Фотографія деталей в момент розплаву припою в плазмі двоступеневого розряду.

Пайка в газовому вакуумно-дугового розряді при позитивному потенціалі.

На рис. 6 показана схема формування ДВДР, при якій підкладкотримач використовується в якості анода. Як і в попередній схемі на виході випарника 2 встановлений екран у вигляді системи дисків (або жалюзі), що пропускають частинки газу (азоту або аргону) і електрони та затримують випаровувані атоми катода.

Блок живлення дуги 4 підключений позитивним полюсом до поворотного пристрою 6 з деталями 5 і при включенні випарника 3 і подачі газу (азоту, аргону) до тиску 0,5 Па в камері 1 виникає газовий дуговий розряд, анодом якого є деталь, що нагрівається.

При використанні підкладкотримача в якості анода струм може досягати 100 А (залежить від розміру), оптимальний близько 50 А. Таким чином відбувається дуже швидкий розігрів деталей (рис.6). Повний розплав мідної фольги відбувається за час 6 ... 15 хв. Розплав припою на основі ПСР-45 відбувається за час 3 ... 5 хв (рис. 7). Час нагрівання до розплаву припою залежить від маси і об'єму деталей.



1 - вакуумна камера (область з газовою плазмою); 2 - джерело живлення випарника; 3 - вакуумно-дуговий випарник; 4 - джерело живлення дугового розряду; 5 - припаювана деталь; 6 - підкладкотримач (поворотний пристрій); 7 - екран (жалюзі).

Рисунок 6 - Схема вакуумно-дугової установки для пайки деталей за допомогою двоступеневого розряду при позитивному потенціалі.

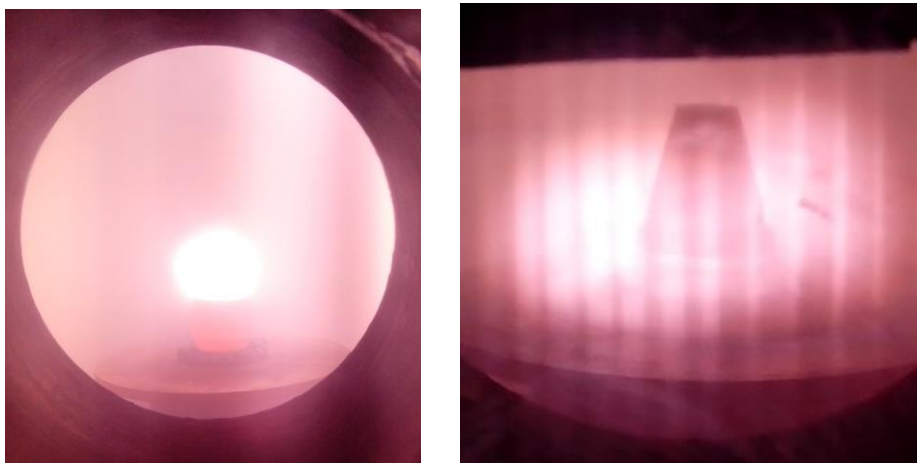


Рисунок 7 - Нагрівання і пайка деталей в двохступеновому розряді при позитивному потенціалі.

На рис. 8 показані катоди для роботи у вакуумно-дуговій установці «БУЛАТ-6». З'явилась можливість використовувати катоди на основі високоентропійних сплавів (ВЕС) та різні багатокомпонентні системи.



Рисунок 8 - Фотографія молибденового (а) і графітового (б) катода, спаяного з титановою різьбовою частиною мідним припоєм

До цього моменту механічна обробка матеріалів ВЕС була дуже проблемною і не завжди може бути здійсненою. Матеріали ВЕС можуть мати високу твердість і крихкість.

Висновки

1. Запропоновано три схеми модернізації вакуумно-дугової установки типу «БУЛАТ-6» для нагрівання та паяння виробів у вакуумі, що дозволяє вирішити проблему забезпечення вакуумного ущільнення катодів різьбовою сполукою.
2. Розглянуто методику паяння у вакуумі на високотемпературний припій типу ПСР-45, з використанням металевої плазми дугових джерел. Час нагрівання до температури плавлення становить 20-30 хв.
3. Модернізація вакуумно-дугової установки для двоступінчастого розряду дозволяє збільшити швидкість нагріву деталей до температури 720 ° С за 8 хвилин.
4. Розроблено методику паяння у вакуумно-дуговій установці що дозволяє використовувати як припой мідну фольгу, що дозволяє поліпшити і здешевити процес паяння.
5. Використання двоступінчастого вакуумно-дугового розряду для нагрівання деталей у вакуумі є одним з енергетично обґрунтованих методів, і не вносить домішки в деталі, що нагріваються, тобто цей метод є конкурентоспроможним порівняно з промисловими установками для вакуумної пайки.

Література

1. Андреев А. А., Саблев Л. П., Григор'єв С. М. Вакуумно-дугові покриття. Харків: ННЦ ХФТІ, 2010. 317 с.
2. Markovich M., Fischer G., Shapiro A. E. Brazing Titanium and Chromium Using Ion Bombardment Heating // Welding journal. 2011. P. 41–43.
3. Elrefaey A., Wojarski L., Pfeiffer J., Til-Imann W. Preliminary Investigation on Ultrasonic-Assisted Brazing of Titanium and Titanium / Stainless Steel Joints // Welding journal. 2013. P. 148–153.

4. Кантер А. Вакуумна пайка запорука якісного паяного з'єднання. Технології у електронній промисловості. 2013. № 6. С. 30-33.
5. Суслов А. А. Паяння шаруватих конструкцій на основі алюмінію та титану. *Зварювальне виробництво*. 1994. № 12 (721). С. 11-13.
6. Біляков В. І. Дифузійне зварювання виробів з примусовим деформуванням у вакуумних печах. *Машинобудування*. 1993. № 3-5. С. 92-96.
7. Гладков Е. А. Розробка нових процесів і методів їх управління та автоматизації стосовно існуючих і нових конструкційних матеріалів. *Машинобудування*. 1993. № 6. С. 12-14.