

УДК 621.791.3

*Стреленко Н.М.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

### ФІЗИКО-ХІМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ РІДКОГО ПРИПОЮ І ОСНОВНОГО МЕТАЛУ В ПРОЦЕСІ ПАЯННЯ

*На основі аналізу певних факторів, явищ, які визначають процес дугового паяння показано, що якісні характеристики паяного з'єднання залежать від фізико-хімічних процесів взаємодії на міжфазній границі «рідкий припій – основний метал». Результатом такої взаємодії може бути присутність в складі паяного з'єднання локальних комплексів на основі елементів системи «рідкий припій – основний метал», які визначають якісні показники паяного з'єднання. Проведені експериментальні дослідження дугового паяння Міг методом напусткових з'єднань з тонколистової оцинкованої сталі.*

*Ключові слова:* дугове паяння; міжфазна границя взаємодії рідкий припій – основний метал; фізико-хімічна взаємодія; розтікання; змочування; якісне паяне з'єднання

Враховуючи значну кількість постійно зростаючих світових потреб в новітніх, інноваційних технологіях паяння, які зумовлені величезною номенклатурою паяних виробів від мікро- до макророзмірів та постійно виникаючих нових різноманітних сталей і сплавів з покращеними характеристиками необхідна оптимізація системи “припій-флюс”, а іноді створення нових композицій для гарантованого отримання якісного паяного з’єднання.

Неможливо обійти стороною і сучасні вимоги до паяних матеріалів, а саме у відповідності з європейськими стандартами якості – обмежувати шкідливі для людини та навколишнього середовища елементи, з’єднання, які входять в склад припоїв. Зменшення або навіть виключення певного елемента чи з’єднання зі складу припоїв призведе до погіршення або відсутності необхідного рівня якості паяного з’єднання.

Для отримання якісного паяного з’єднання із врахуванням вищезазначених факторів необхідне розуміння основ процесу паяння, які полягають у комплексі взаємопов’язаних процесів, явищ, факторів: змочуванні і розтіканні, адгезії і когезії, фізичній і хімічній адсорбції, відновленні і дисоціації, каплярній течії рідини, дифузії і розчиненні, і т.п., які в свою чергу залежать від умов їх протікання (стан та підготовка поверхні основного металу, параметри режиму паяння, засобів активації поверхні) [1–3]. Слід враховувати, що в процесі паяння у взаємодії знаходяться речовини в трьох агрегатних станах: основний метал – кристалічна фаза, припій – рідка, і певне газове середовище. В свою чергу характер взаємодії трьох фаз речовин в процесі паяння залежить від електронної будови атомів, співвідношення атомних радіусів, положення елементів в ряді електронегативності, валентності, потенціалу іонізації.

Процес отримання якісного паяного з’єднання визначається досить великим рядом складних, взаємопов’язаних факторів, явищ на границі взаємодії двох фаз: рідкого припою та твердої поверхні основного металу результатом якої є утворення комплексів з’єднань на основі присутніх компонентів рідкого припою та основного металу [3], зрощування схожої кристалічної структури в процесі кристалізації з утворенням нероз’ємного з’єднання.

Вивчення особливостей та певна систематизація закономірностей процесів фізико-хімічної взаємодії рідкого припою і основного металу надасть можливість управління процесами, що протікають на міжфазній границі і, як результат, прогнозування якості паяного з’єднання. Першою стадією фізико-хімічної взаємодії припою з основним металом є процес змочування – встановлення фізичного контакту рідкого металу з твердим основним матеріалом із утворенням на границі взаємодії міжатомних зв’язків, результатом яких є розтікання припою на поверхні металу з характерним крайовим кутом змочування.

У процесі змочування основного металу і розтікання припою дві вільні взаємодіючі поверхні замінюються однією міжфазною поверхнею з більш низькою вільною енергією системи і яка є основою майбутнього паяного з’єднання (рис.1). Взаємопов’язані процеси змочування і розтікання можуть супроводжуватися суттєвим розчиненням основного металу у рідкому припої і взаємною дифузією, яка може мати декілька механізмів: поверхневу дифузію атомів припою, випаровування з наступною конденсацією атомів або часток припою, розчинення, об’ємну дифузію.

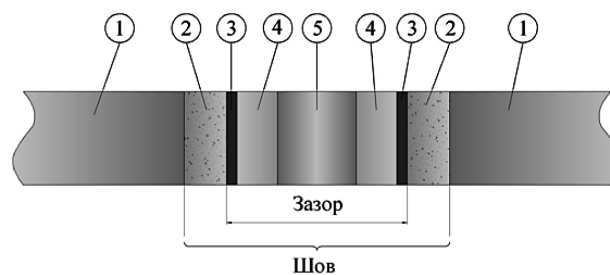


Рис. 1. Схема будови паяного з’єднання [1]: де 1 – основний метал, 2 – дифузійна зона, 3 – спай, 4 – прикристалізована зона, 5 – припій

Якісне паяне з’єднання утворюється при досягненні оптимальних характеристик змочування та розтікання рідкого припою на поверхні основного металу із проходженням молекулярної взаємодії на міжфазній границі, взаємного розчинення та дифузії основного металу і рідкого припою за наявності необхідних температурних умов процесу паяння. Забезпечення оптимальних температурних умов плавлення припою з мінімальним тепловкладенням в основний метал можливе за рахунок управління процесом переносу електродного металу – твердого припою у ванну розплавленого припою на базі сучасних технологій дугового паяння плавким електродом в середовищі інертного газу (MIG-паяння) [5]. За рахунок імпульсної дуги з цифровим управлінням досягається ефект «холодного» перенесення металу. Такі технології дозволяють отримувати міцність паяних з’єднань на рівні близькому до зварювання, що забезпечує їх широке застосування в таких областях, як: автомобілебудування, автосервіс, монтаж систем вентиляції, виробництво тонколистових металокопункцій.

На базі підприємства «Фроніус Україна» виконане дугове паяння в інертному газі аргоні (рис. 2) ряду зразків напусткового з’єднання з тонколистової оцинкованої сталі дротом CuSi, діаметром 1 мм. В результаті проведених експериментальних досліджень, з використанням синергетичних методів керування процесом паяння, забезпечений високий рівень міцності отриманих паяних з’єднань.

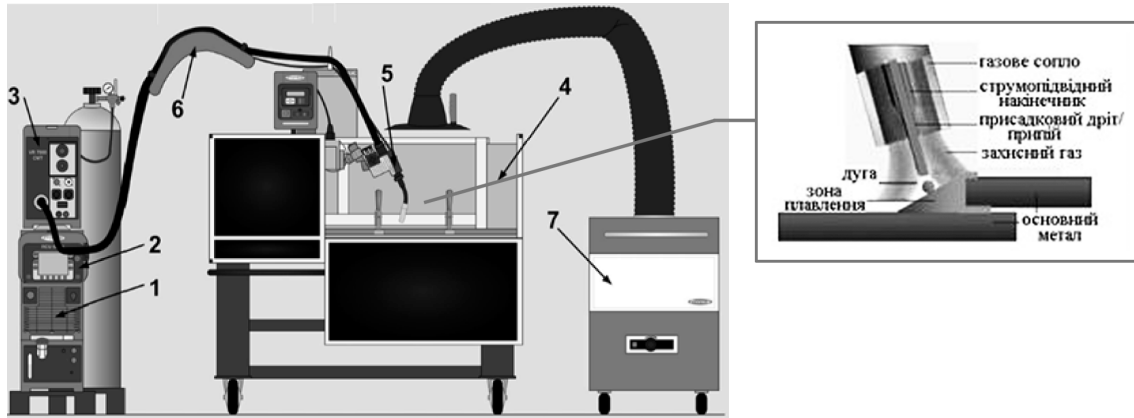


Рис. 2. Установа для паяння та зварювання MIG/MAG методом, де 1 – джерело зварювального струму TPS 5000 CMT R; 2 – блок дистанційного керування з дисплеєм RCU 5000i; 3 – блок подачі дроту VR 7000 CMT; 4 – зварювальний стіл; 5 – зварювальний палик RobactaDriveCMT; 6 – буфер-компенсатор; 7 – мобільна система витяжки диму SuperClean 100

Для з'ясування механізму та пояснення особливостей утворення паяних з'єднань основного металу з цинковим покриттям та мідно-кремнієвого припою проведено дослідження мікроструктури та хімічного складу паяного з'єднання на основі растрового електронного мікроскопу «РЭМ-106 И», що дозволило встановити наявність певних концентраційних співвідношень елементів, що входять до складу системи припій-флюс. Діапазон концентраційних співвідношень таких елементів, як Cu (92–97%), Zn (2–8%) і до 1% Si і Mn, де мідь і кремній є основними складовими припою, цинк – основою антикорозійного покриття сталі. Аналіз хімічного складу поперечного перерізу паяних з'єднань отриманих при дуговому паянні MIG методом показав присутність певних локальних областей з концентраційним співвідношенням елементів: Cu (41–86%), Zn (9–48%) і Fe (2–15%). Наявність заліза в паяному з'єднанні можна пояснити дифузійними процесами на міжфазній границі «рідкий припій-основний метал», які зумовлені температурними діапазонами процесу паяння. Існування таких комплексів елементів характеризує паяння як складний, багатофакторний процес та відповідно утворення, концентраційна наявність, хімічний склад та тип кристалічної структури таких комплексних з'єднань визначає якість паяного шва. Хімічний склад, структура і, як результат, механічні характеристики паяного з'єднання визначаються процесами, які протікають на міжфазній границі взаємодії рідкого припою і поверхневих шарів основного металу. В процесі кристалізації припою утворюється неоднорідний за структурою спай, який містить у своєму складі певну кількість комплексних з'єднань елементів припою та основного металу, що підтверджує відому наявність значної різниці температур (200–250 °C) між процесом розпайки та паяння.

### Висновки

Проведений аналіз деяких факторів та встановленні особливості, які визначають процес утворення паяного з'єднання при дуговому паянні. Серед фізико-хімічних факторів одними з основних, що характеризують процес утворення паяного з'єднання є розтікання розплавленого припою, змочування поверхні основного матеріалу та дифузійні процеси на границі припій-метал.

На основі сучасних-технологій дугового паяння в інертних газах, які передбачають використання сенергетичних методів керування процесом паяння, проведенні експериментальні дослідження напусткових з'єднань з тонколистової оцинкованої сталі. Встановлена наявність в складі паяного з'єднання локальних комплексів на основі хімічних елементів, які входять до складу системи «припій-основний метал».

### Література

- [1] Петрунин И. Е., Маркова И. Ю., Екатова А. С. Металловедение пайки. М. «Металлургия». 1976, – 264 с.
- [2] Петрунин И. Е. Справочник по пайке. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. – 480 с.
- [3] David M. Jacobson, Giles Humpston Principles of brazing / p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN: 0-87170-812-4 1. Brazing. I. Humpston. Giles. 2005, SAN: 204-7586.
- [4] Стреленко Н. М. Фізико-хімічна взаємодія на границі фаз рідкий припій-основний метал. Сьома всеукраїнська міжгалузєва науково-технічна конференція студентів, аспірантів та наукових співробітників “Зварювання та споріднені технології і процеси”/ Київ: 14–16 травня 2014р., с. 23–24.
- [5] Arc brazing - Innovative, safe and economical, Norbert Knopp, Mündersbach and Robert Killing, Solingen, Germany, © 2003 EWM HIGHTEC WELDING.



*Strelenko N.M.*

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". Ukraine, Kyiv

### PHYSICAL AND CHEMICAL INTERACTION LIQUID SOLDER AND BASE METAL DURING SOLDERING

*Based on the analysis of certain factors, phenomena that define the arc soldering process shows that the qualitative characteristics of solder joints depend on the physical and chemical processes of interaction at the interface "liquid solder – the base metal." The result of this interaction may be the presence of solder joints within local systems based on the elements of the "liquid solder – base metal" that define quality indicators solder joints. Experimental study of arc Mig brazing method connections with galvanized steel sheet.*

*Keywords:* sarc soldering; the interface interaction liquid solder – base metal; physico-chemical interaction; spreading; wetting; high-quality solder joints

#### References

- [1] Petrunin I. Ye., Markova I. YU., Yekatova A. S. Metallovedeniye payki. M. «Metallurgiya». 1976, – 264 s.
- [2] Petrunin I. Ye. Spravochnik po payke. 3-ye uzd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 2003. – 480 s.
- [3] David M. Jacobson, Giles Humpston Principles of brazing / p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN: 0-87170-812-4 1. Brazing. I. Humpston. Giles. 2005, SAN: 204-7586.
- [4] Strelenko N.M. Fyzyko-khimichna vzayemodiya na hranytsi faz ridkyy pryypiy-osnovnyy metal. Soma vseukrayinska mizhhaluzeva naukovo-tekhnichna konferentsiya studentiv, aspirantiv ta naukovykh spivrobitnykiv „Zvaryuvannya ta sporidneni tekhnolohiyi i protsesy”/ Kyiv: 14–16 travnya 2014r., s. 23–24.
- [5] Arc brazing - Innovative, safe and economical , Norbert Knopp, Mьndersbach and Robert Killing, Solingen, Germany , © 2003 EWM HIGHTEC WELDING.