

Використання при ДЗВ прошарків на основі алюмінію дозволяє забезпечити високу міцність та корозійну стійкість з'єднань з температурою плавлення в інтервалі 450÷630°C. Найбільш багаті алюмінієм евтектики з нікелем та кремнієм. Зі збільшенням вмісту алюмінію в евтектиці підвищується її температура плавлення, що забезпечує активацію процесу контактної реактивної плавлення. Однак евтектика Al-Ni має високу температуру плавлення 915 К, яка вище температури плавлення деяких алюмінієвих сплавів, а також викликає значну хімічну ерозію поверхонь, що з'єднуються. А евтектика Al-Cu призводить до підвищення крихкості [4].

Найбільш сприятливою для контактної реактивної плавлення алюмінію та його сплавів є евтектика Al-Si із температурою плавлення 850 К, що містить 11,7 % кремнію і володіє високими показниками міцності та пластичності [4].

Сплав Al-Si містить в структурі евтектику  $\alpha$ -Si і нерідко первинні кристали Si, який при твердінні евтектики виділяється у вигляді грубих кристалів голчатої форми, котрі відіграють роль внутрішніх надрізів в пластичному  $\alpha$ -твердому розчині. Така структура володіє низькими механічними властивостями. Для подрібнення структури і усунення надлишкових кристалів Si силуміні модифікують Na, завдяки чому в процесі твердіння кристали кремнію покриваються плівкою силіциду натрію  $\text{Na}_2\text{Si}$ , яка утруднює їх ріст, що покращує механічні властивості сплаву [5]. Наявність рідкої евтектики Al-Si у прошарку, що пропонується нами, забезпечує отримання прецизійного з'єднання без застосування надмірних зварювальних зусиль. При додаванні до силуміну Mg до 2% спостерігається, по-перше, зміцнення його структури за рахунок утворення силіциду магнію  $\text{Mg}_2\text{Si}$  та, по-друге, покращуються умови для усунення надлишків кисню та парів води, що адсорбуються на поверхні алюмінію, і за рахунок парів магнію відбувається відновлення алюмінію з оксидної плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [4].

Тому, на наш погляд, забезпечити видалення оксидної плівки зі сплаву, та утворення фізичного контакту, що виражається у змочуванні контактуючих поверхонь рідким металевим прошарком Al-Si, який, в свою чергу, виникає при виділенні вільного Si, можливо при введенні в контакт суміші складу  $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$ .

Для подальшої інтенсифікації видалення оксидної плівки, і, відповідно, зменшення часу дії стискаючих зусиль при високих температурах нами було запропоновано пропускання постійного електричного струму через деталі, що зварюються. Відома електрохімічна теорія, за якою видалення оксиду алюмінію відбувається за рахунок електродного процесу на границі алюмінію з оксидною плівкою, Al при цьому є анодом,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – катодом, а флюс відіграє роль електроліту. Іони алюмінію, відриваючись від поверхні металу, поступово руйнують зв'язок частинок оксидної плівки з металом. Таким чином, електрохімічний процес викликає розрихлення оксидної плівки, відрив її від металу та перехід у шлак [6].

Відомо, що величина електропереносу при густинах струму до 0,2 А/мм<sup>2</sup> є співрозмірною з дифузійною при контактному плавленні [7]. У зв'язку з цим було припущено, що прискорення видалення оксидної плівки при дифузійному з'єднанні у вакуумі і, відповідно, зменшення часу дії стискаючих зусиль при високих температурах можливе за рахунок прикладення постійного електричного струму до деталей, що з'єднуються. Експерименти проводилися на зразках із алюмінію АД00 та сплаву АМг5. Після проведення комплексу досліджень нами було запропоновано технологію прецизійного дифузійного зварювання у вакуумі алюмінію та його сплавів через прошарок системи  $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$  із пропусканням електричного струму за режимом: глибині розрідження  $10^{-2}\text{-}10^{-3}$  Па, температурі 853 К, питомому тиску 0,1 МПа, пропусканні електричного струму густиною до 0,2 А/мм<sup>2</sup> та часі зварювання 90 с. У результаті застосування запропонованої технології було отримано зварні з'єднання з міцністю на зріз 82-90% від міцності основного металу та залишковою деформацією виробів на рівні 3-5%.

#### Список використаних джерел

1. Квасницкий В.В. Специальные способы сварки: учебное пособие / В.В. Квасницкий. – Николаев: УДМТУ, 2003. – 437с.
2. Саликов В.А. Специальные методы сварки и пайка: учеб. пособие / В.А. Саликов, М.Н. Шушпанов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – 214 с.
3. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.В. Люшинский. – М.: «Академия», 2006. – 208 с.
4. Лашко Н.Ф. Контактные металлургические процессы при пайке / Н.Ф. Лашко, С.В. Лашко. – М.: Металлургия, 1977. – 192 с.
5. Лахтин Ю.М. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
6. Никитинский А.М. Пайка алюминия и его сплавов / А.М. Никитинский. – М.: Машиностроение, 1983. – 192 с.
7. Акхубеков А.А. Влияние примесей щелочных, щелочноземельных металлов и постоянного тока на кинетику контактного плавления металлов / А.А. Акхубеков, Н.В. Далакова, О.Л. Еналдиева, Т.А. Орквасов, В.А. Созаев, Т.Х. Тамаев // Электронный журнал «Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы», 2006. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.ptosnm.ru/catalog/s/7>.

УДК 628.398

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

Потапенко Ю.О., студ. гр. ЗВ-171

Науковий керівник: Болотов М.Г., к.т.н., доцент

Чернігівський національний технологічний університет

Процес зварювання з'явився ще в бронзовій добі, коли людина почала набувати досвід обробки металів для виготовлення знарядь праці, бойової зброї, прикрас та інших виробів. За допомогою зварювання і споріднених технологій створюється більше половини валового національного продукту промислово розвинутих країн. У зварювальному виробництві зайнято близько 5 млн людей, переважна більшість яких (70-80%) виконують електродугові процеси. На сьогоднішній час зварювання є досить розвиваючою гілкою промислового світу.

На початку XXI ст. ринок зварювальної техніки оцінюється в 45 млрд. доларів, з яких 70% припадає на зварювальні матеріали і близько 30% - на зварювальне устаткування.

З цього можна зробити висновок, що тенденція позитивна до зростання світового ринку з виробництва зварювального устаткування, а отже і до розвитку зварних процесів.

Досить цікаво сформулював основні напрями розвитку зварювання відомий академік Б.Е Патон. Якщо взяти до уваги країни СНГ, то дугове і контактне зварювання залишаються домінуючими, насамперед через їх практичність. Доля автоматичних способів зварювання в захисних газах, що замінює ручне дугове, складе в майбутньому 65 – 70 % загального від всього об'єму зварювальних процесів.

З чим це пов'язано? Насамперед, це практичність автоматичного зварювання, його швидкість і якість. Щодо країн Європи та США, то саме в цих країнах активно розвиваються лазерне зварювання, електронно-променеве і дифузійне.

Лазерне зварювання – це зварювання плавленням, при якому джерелом тепла для розплавлення частин з'єднання є енергія світлового променя, одержана від оптичного квантового генератора — лазера.

Сутність процесу утворення лазерного променя полягає в такому: За рахунок накачування зовнішньої енергії (електрична, світлова, теплова, хімічна) атоми активної речовини випромінювача переходять в збуджений стан. Потім збуджений атом може випромінити одержану енергію у вигляді фотона і повернутися в попередній незбуджений стан.

Лазерне зварювання у виробництві в майбутнє десятиліття істотно збільшиться і досягне 8–10% загального об'єму зварювальних робіт.

Лазерно-гібридне зварювання в Німеччині вже активно використовується багато років.

Лазерно-гібридна технологія Fronius є поєднанням лазерного процесу зі зварюванням MIG і має переваги обох варіантів (процесу MIG промислового рівня та зварювання за допомогою лазерного променя) без притаманних їм недоліків. Лазерно-гібридна технологія Fronius забезпечує оптимальне перекриття зазорів і легку підготовку шва, властиві процесу MIG, а також низький тепловий вплив, глибоке проплавлення та швидкість лазерного зварювання. Завдяки цьому можна з'єднувати різноманітні деталі зі сталі й алюмінію зі швидкістю до 8 метрів на хвилину та якнайвищою якістю.

Основою системи лазерно-гібридного зварювання є компактна лазерно-гібридна головка з інтегрованим зварювальним пальником MIG/MAG і лазерною оптикою. Тримач робота з'єднує лазерно-гібридну головку зі стандартною промисловою роботизованою системою. Це забезпечує головці необхідну гнучкість для роботи на важкодоступних ділянках деталі. Зварювальний дріт можна розмістити у будь-якому положенні відносно лазерного променя, що дає змогу точно адаптувати процес до найрізноманітніших способів підготовки шва, результатів, типів та класів дроту, а також зварювальних завдань.

Що до електронно-променевого зварювання, то воно вже активно застосовується в атомній енергетиці Японії та США.

Аерокосмічна індустрія, кораблебудування, промисловість – всі вище перераховані галузі вже повністю використовують роботизоване зварювання. Взяти наприклад Японську компанію «Fapuc» яка є лідером світового ринку промислової автоматизації і роботехніки. Численна кількість дослідів і інновацій створення технологічних робіт припадає саме на цю компанію.

Поряд знаходиться компанія «Kuka». Безліч цікавих і перспективних робіт зварювальників (і не тільки) випускають саме тут. Але ж які саме в нього є переваги над іншими видами зварювання? І чому він є майбутнім зварювальної індустрії? Використання роботизованої установки у зварювальному виробництві забезпечує:

- 1) максимальну ефективність без зниження рівня якості,
- 2) високу швидкість виконання та стабільність процесу,
- 3) можливість з легкістю виконувати з'єднання складної форми,
- 4) стабільність технологічних параметрів та повторення процесу,
- 5) відсутність людського фактору, оскільки технічний спеціаліст не приймає безпосередньої участі в процесі,
- 6) здатність працювати в режимі 24/7.

Досить розвиненою компанією у робототехніці є також Panasonic.

Промислові роботи Panasonic застосовуються для зварювання у середовищі активних (CO<sub>2</sub> та MAG) та інертних газів (MIG) плавким електродом, а також неплавким електродом у середовищі інертних газів (TIG). Зварювальний робот складається з маніпулятора, контролера, зварювального джерела живлення (з відповідним пальником та механізмом подавання дроту), а також додаткових пристроїв переміщення. Зважаючи на індивідуальність кожної роботизованої системи, а також притаманну їй гнучкість та універсальність, Panasonic пропонує комплексні виробничі рішення - PerformArc.

Panasonic PerformArc - це зварювальні роботизовані клітини модульного типу, що складаються виключно з компонентів Panasonic. Зварювальні клітини PerformArc спроектовані для ефективного і якісного вирішення різноманітних виробничих завдань. Вони забезпечують застосування широкого діапазону габаритних характеристик робочих деталей і їх позиціонування з урахуванням ефективної робочої зони.

Отже можна зробити висновок, що розвиток зварювальних процесів має тенденцію до швидкого зростання. В майбутньому, зварювальні процеси будуть виконуватися повністю роботами і контролюватися спеціалістами у галузі зварювання. Таким чином професія зварювальника буде актуальною в продовж довго часу.

Список використаних джерел

1. «NG Metal Ukraine» Посилання: <https://ng-metal.com>.

2. Перемітько В.В. Конспект лекцій з дисципліни «Інноваційні процеси у зварюванні та споріднених технологіях». – 2018.
3. ISSN 0372-6436. Вісн. НАН України, 2009, № 10.
4. ISSN 1607-6885 Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №2, 2010.
5. «Технологія електродугового зварювання» І.В.Гуменюк і О.Ф.Іваськів.
6. «Panasonic Robot & Welding Europe та TUNKERS Maschinenbau» <http://www.robotics.kiev.ua>.
7. «Fronius Company» <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tehnolohiyi>.

UDC 621.791

## WELDING WITH HIGH-POWER LASERS: TRENDS AND DEVELOPMENTS

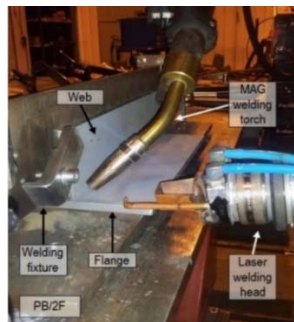
**Redlikh O.F.**, stud., gr. 3M3BП-181

Supervisor: **Ganeev T.R.**, Ph.D., Associate Professor  
*Chernihiv National Technological University*

In modern times (but as always) there are problems of building even larger structures, using even stronger and even thicker materials. Main customers of such requirements are corporations specializing in manufacturing of the large marine vessels, drilling platforms, marine wind turbines, pipelines, chemical reactors. In these structures metals and alloys of large thicknesses are used.

With the new generation of lasers, high-energy laser welding (more than 10 kW, up to 100 kW) is the leading technology in modern research and production. One of the main disadvantages of laser welding is the need for precise connection of welding components. Many studies have been carried out to solve this problem.

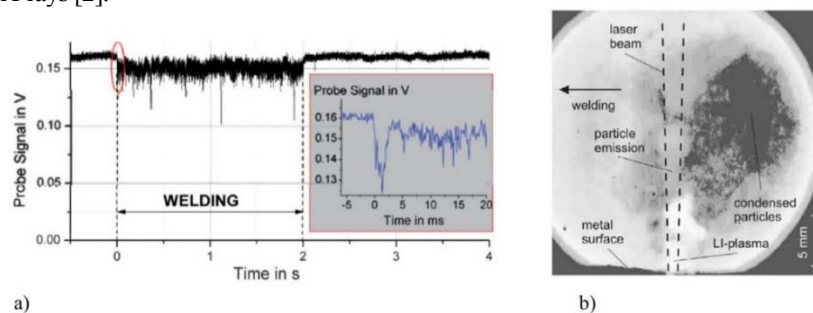
One of the latest researches is using of hybrid high-energy laser welding together with the arc welding methods (welding in shielding gases) [1].



*Fig. 1. Experimental setup: hybrid high-energy laser and arc welding of T-butt joint, flat welding position*

The main advantage of this method is the possibility of one pass melting of the metal with a relatively large thickness (up to 20 mm), the lack of large thermal investments in the structure and, consequently, the absence of significant welding deformations. Using the secondary arc welding method allows you to get a guaranteed filling of the partition of the edges and to form a beautiful appearance of the welded joint. The use of electromagnetic support systems guarantees the formation of a back roller seam.

For a more complete understanding of hybrid high-energy laser welding, there is the high-speed video shooting of the welding zone in X-rays [2].



*Fig. 2. (a) Typical form of the probe beam transmission signal during welding; (b) video observation of the condensed particle cloud during the welding process.*

In addition to experimental methods, there is mathematical models had been developed, that work very well for austenitic, ferrite, clad steels. The main problem is the simulation / reconstruction of the welding temperature field. Another important issue is the effect of a steam jet from a weld bath. With increasing laser power, the power of the jet is also increasing, which leads to loss of welding power. Impact of the wire feed rate, power of laser beam and speed of welding on quality of the welded connection was studied.