

DOI 10.26886/2414-634X.5(32)2019.2

UDC 621.791.763

ADVANCED SPOT WELDING TECHNOLOGIES OF THIN-WALLED PARTS

V. Baranovsky, Doctor of Technical Sciences,

V. Lazaryuk, PhD of Technical Sciences,

B. Berezhenko, V. Senchishin

Ternopil Ivan Puluuj National Technical University, Ukraine, Ternopil

At the present stage, resistance spot welding is widely used in the field of mechanical engineering. Positive advantages of this welding process are the considerable level of welding mechanization and automation, versatility and flexibility of the process, relatively small residual deformations. However, the level of defective spot-welds in the mass production of welded structures reaches 5%. Currently, the quality of spot-welded joints is accompanied by increased reliability and durability requirements for welds, a minimum level of residual deformation and minimizing defects as lack of fusion and metal splashing. As a result, modern technologies of double-sided spot welding and general technique of spot-welded joints are considered.

Key words: structural diagram, part, electrode, current, spot-weld, cycle, compression bushing.

доктор технічних наук Барановський В. М., кандидат технічних наук Лазарюк В. В., Береженко Б. М., Сенчишин В. С. Удосконалений спосіб контактного зварювання тонкостінних виробів / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна, Тернопіль

На сучасному етапі контактне точкове зварювання широко застосовується в галузі машинобудування за рядом позитивних

критеріїв – наявності доволі значного рівня механізації та автоматизації зварювальних робіт, універсальності та гнучкості технологічного процесу, відносно незначних залишкових деформацій тощо. Незважаючи на це рівень дефектності зварних точок в серійному виробництві зварних конструкцій при виготовленні відповідальних зварних виробів досягає 5%. Тому до якості зварних точкових з'єднань висуваються підвищені особливі вимоги – надійності та стабільної міцності зварних швів, мінімального рівня залишкових деформацій та мінімізованої кількості різних видів дефектів, наприклад, як непроварів і бризів металу у зоні ядра зварювання. На основі проведеного аналізу розглянуто сучасні технології двостороннього контактного точкового зварювання та загальну схему формування точкових зварних з'єднань.

Ключові слова: структурна схема, деталь, електрод, струм, зварна точка, цикл, обтискна втулка.

Вступ. При контактному стиковому зварюванні деталі закріплюють у затискачах і пропускають струм від трансформатора, зближуючи кінці деталей. У площині дотику деталі швидко нагріваються до зварювальної температури. Потім струм вимикають, а деталі стискають. Нагрівання металу проходить у результаті виділення тепла в зоні контакту зварюваних деталей під час пропускання через них великого зварювального струму.

Точкове зварювання – найбільш поширений спосіб контактного зварювання, на частку якого припадає близько 70 % всіх з'єднань, які виконують контактним зварюванням. Цей спосіб зварювання широко використовують в автомобіле- і вагонобудуванні, авіабудуванні, будівництві, радіоелектроніці тощо.

Наприклад, у конструкціях сучасних авіалайнерів налічується

декілька мільйонів зварних точок, у автомобілів – від 5000 до 7000, пасажирських залізничних дорожніх вагонів – близько 30000 точок. Діапазон товщини зварювальних деталей знаходиться в доволі широкому діапазоні – від декількох мікрометрів до 30 мм [1, с. 46-48; 2, с. 37-39].

Відомі способи контактного зварювання класифікують за низкою ознак (рис. 1): за технологічним способом отримання з'єднання – точкове, рельєфне, шовне, стикове; за конструкцією з'єднання – унапуск, стикове; за станом металу в зоні зварювання – з розплавленням металу, без розплавлення металу; за способом підведення струму – одностороннє, двостороннє; за родом зварювального струму та формою імпульсу струму – змінний промисловий, підвищеної і зниженої частоти; постійний, уніполярний – струм однієї полярності зі змінною силою протягом імпульсу; за кількістю одночасно виконуваних з'єднань – однотокове, багатотокове, одношовне, багатошовне – зварювання одним або декількома швами; за наявністю додаткових з'єднувальних компонентів (клею, ґрунту, припою тощо); за характером переміщення роликів при шовному зварюванні – безперервне (з постійним обертанням роликів), крокове (із зупинкою роликів на час зварювання).

При контактному точковому зварюванні листи з'єднують унапуск і затискають між мідними електродами, через які пропускають струм від трансформатора.

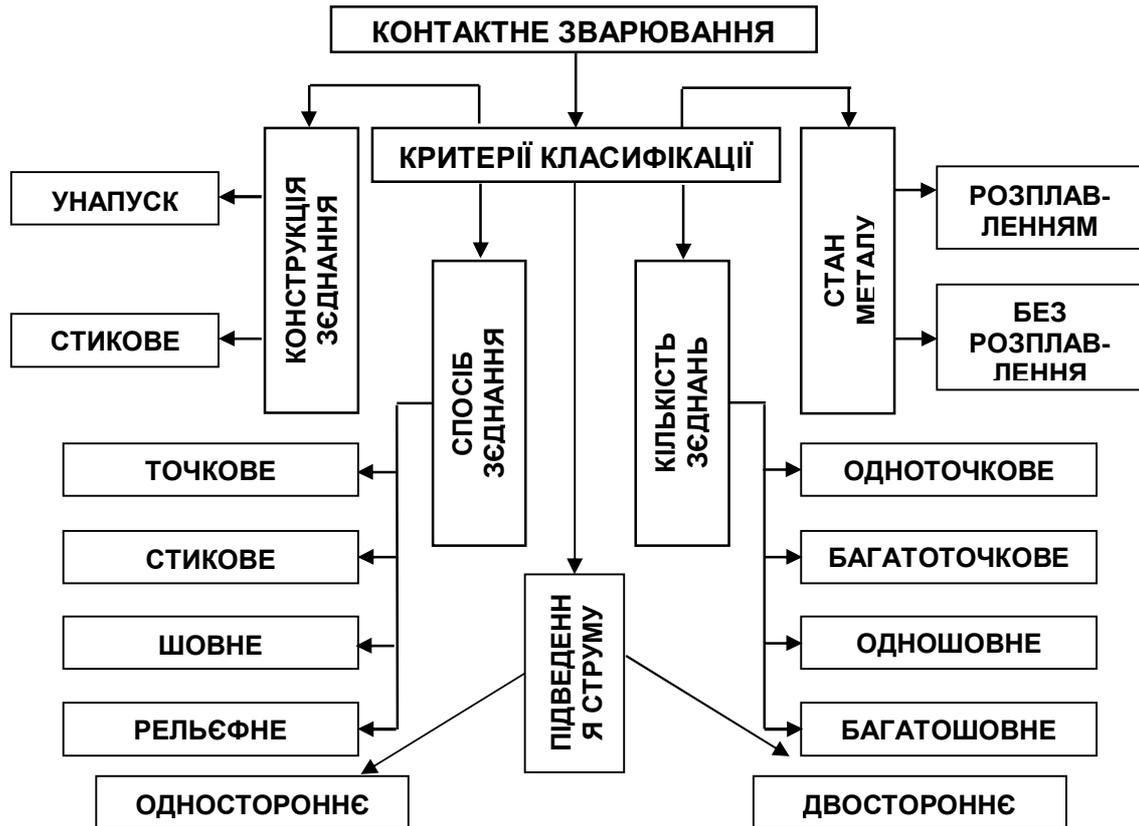


Рис. 1. Класифікація контактного точкового зварювання

Метал у точці опори сильно нагрівається внаслідок підвищення опору при проходженні струму за час 0,01...0,5 с [3, 241-242]. Потім струм вимикають й деталі стискають за допомогою спеціального механізму електродами. При виготовленні багатьох конструкцій (вагонів, кузовів автомобілів тощо) використовують різні способи контактного точкового зварювання: рельєфне (пресове), автоматичне багатоточкове, однобічне точкове та ін.

Технологічні схеми основних способів контактного точкового зварювання наведено на рис. 2 [2, 123-126]. При точковому зварюванні (рис. 2а) деталі 1 збирають унапуск, стискають зусиллям F_{CB} електродами 2, до яких підключено джерело електричної енергії 3. Деталі нагріваються при короткочасному проходженні зварювального струму I_{CB} через ділянку електрод-електрод (рис. 2а) до утворення зони 4 спільного взаємного розплавлення деталей, яку називають ядром.

Нагрівання зони зварювання супроводжується пластичною деформацією металу, спричиненої зусиллям стиснення в зоні контакту деталей (навколо ядра), де утворюється ущільнюючий ободок 5. Він запобігає виплеску рідкого металу, а також і від взаємодії його з навколишнім повітрям, тому спеціального захисту зони зварювання не застосовують. Після виключення струму розплавлений метал ядра швидко кристалізується, в результаті чого утворюються металеві зв'язки між з'єднувальними деталями (рис. 2б).

Нагрівання при точковому зварюванні проводять імпульсами змінного струму промислової частоти 50 Гц (в деяких випадках підвищеної частоти), а також імпульсами постійного, або уніполярного струму.

За способом підведення струму до зварюваних деталей розрізняють двостороннє і одностороннє зварювання.

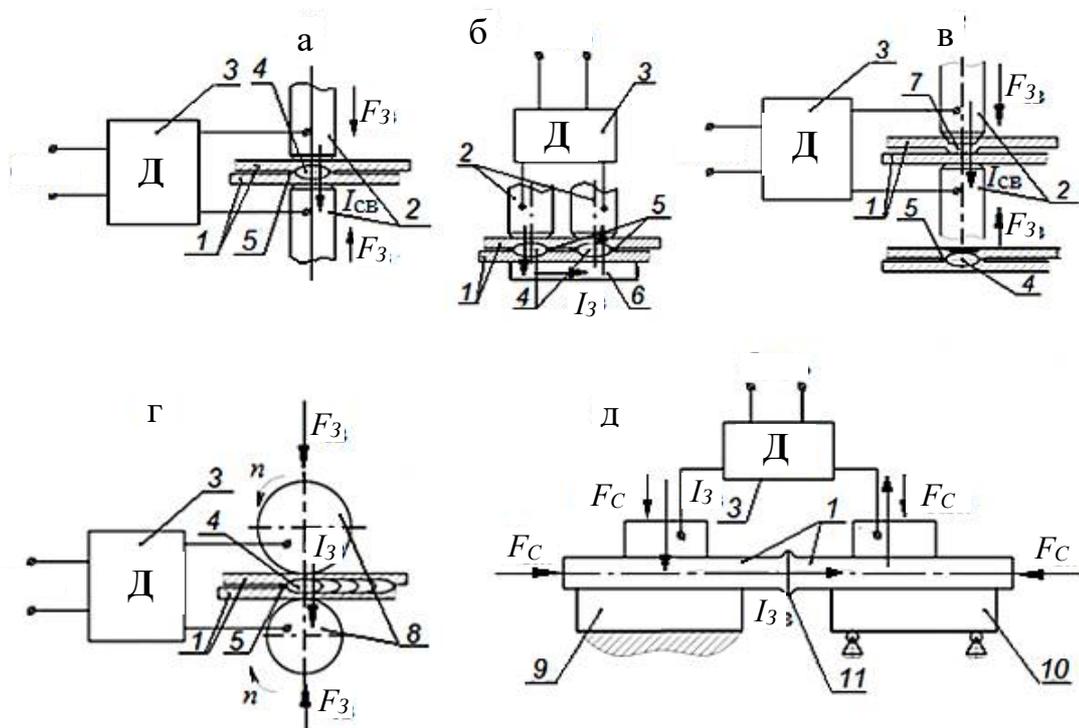
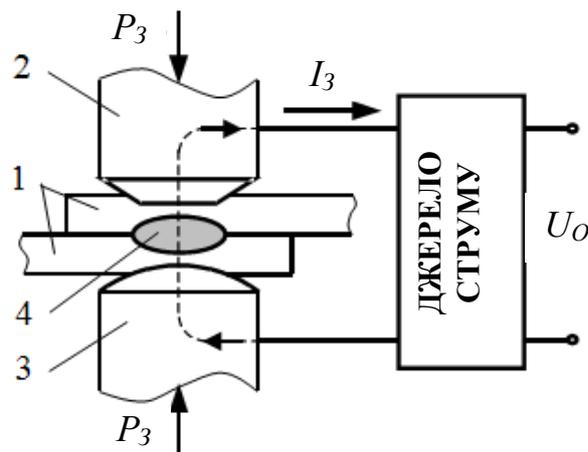


Рис. 2. Технологічні схеми основних способів контактного зварювання

У першому випадку електроди 2 (рис. 2а) підводять до кожної з деталей 1, а в другому – до однієї з деталей (наприклад, верхньої, рис. 2б). Для підвищення густоти струму в точках торкання деталей нижню деталь притискають до мідної підкладки 6, яка сама одночасно роль опори. Найчастіше за цикл зварювання отримують одну точку (одноточкове), рідше – одночасно дві (рис. 2б) і більше точок (багатоточкове зварювання).

Двостороннє контактне точкове зварювання є одним із способів контактного зварювання, за якого зварні деталі 1 (рис. 3) розташовуються перед зваркою один до одного, а потім притискаються струмопровідними електродом 2 і 3 з зусиллям зварювання P_3 за протікання сили струму I_3 .



**Рис. 3. Схема двостороннього контактного точкового зварювання:
1 – деталі зварювання; 2, 3 – струмопровідні електроди; 4 – ядро
розплавленого металу**

Формулювання мети статті та задач. Метою дослідження є підвищення показників якості зварювання нероз'ємних тонкостінних зварних виробів шляхом розширення технологічних можливостей двостороннього контактного точкового зварювання.

Основними задачами досліджень, які забезпечують реалізацію

сформульованої мети, є узагальнення технологічних розробок способів двостороннього контактного зварювання та аналіз шляхів впливу на зону формування точкових зварних з'єднань.

Реалізація такого технічного рішення в умовах виробництва забезпечить ефективне зварювання тонкостінних зварних виробів або якості отримуваних точкових з'єднань.

Викладення основного матеріалу статті. На основі проведеного аналізу було розглянуто сутність і найбільш поширені технології контактного точкового зварювання, загальна схема формування точкових зварних з'єднань і основні процеси, які протікають в зоні зварювання та найбільш значимо впливають на кінцеву якість одержуваних зварних з'єднань залежно від різноманіття використовуваних технологічних прийомів.

Досить перспективним напрямком розвитку технології контактного точкового зварювання, є вдосконалення та розробка нових способів точкового зварювання тонкостінних пластин з цілеспрямованим програмованим впливом на процес формування з'єднання.

Одним з таких перспективних способів контактного точкового зварювання є так зване «контактне точкове зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання» [4, с. 35-37].

В основі способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання покладено винайдений в 1930 р П. Н. Львовим спеціальний електрод (рис. 1.9) [5, с. 75].

Цей електрод (рис. 4а) містить струмопровідний електрод 2 і концентрично розташований навколо нього силовий пуансон (обтискну втулку) 3, яку з'єднано з приводом обтиску, яким може служити пружний елемент.

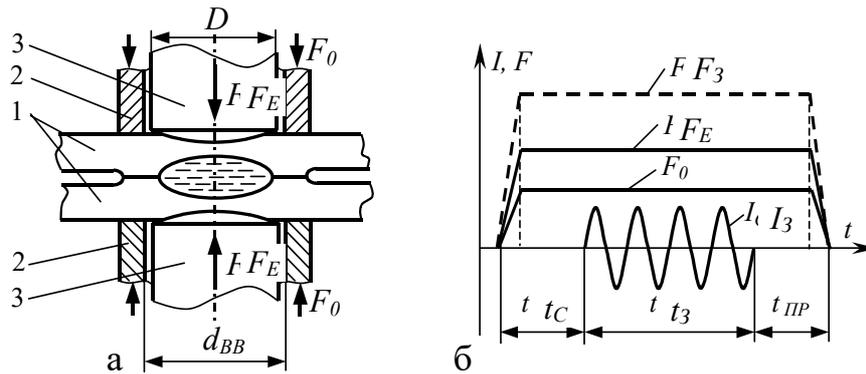


Рис. 4. Схема (а) та цикл зміни параметрів режиму (б) двостороннього контактного точного зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання: 1 – деталі зварювання; 2 – струмопровідні електроди; 3 – обтискні втулки

Під час двостороннього контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання зварювальні деталі стискають струмопровідними електродами зусиллям F_E (рис. 4а) і прикладають навколо зони зварювання автономне додаткове стискаюче зусилля F_0 (зусилля обтиску), яке створюється обтискними втулками.

Даний електродний пристрій дозволяє розділити загальне зусилля стиснення деталей F_3 (рис. 4б), яке задається приводом зварювальної машини на дві його складових. Одна його складова F_E , як і за традиційного способу контактного точкового зварювання, стискає зварювальні деталі за допомогою струмопровідних електродів в центральній частині зони формування з'єднання (над ядром), а друга складова F_0 за допомогою силових пунсонів обтискає зварювальні деталі в їх периферійній області (в області ущільнюючої ободка або ободка). Таким чином, в силу конструктивних особливостей даний електродний пристрій визначає основні ознаки способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання в області ущільнюючого ободка [6, с. 320-323], при якому в будь-який

момент співвідношення зусиль визначається залежністю $F_C = F_E + F_O$.

Проведені попередні дослідження показали високу ефективність даного способу контактного точкового зварювання щодо запобігання виплесків і непроварів. Стійкість процесу формування з'єднання проти утворення виплесків підвищується внаслідок збільшення зусилля стиску деталей в області ущільнюючого ободка [7, с. 49], а стійкість процесу зварювання проти утворення непроварів можна підвищити внаслідок зменшення ймовірності утворення виплесків при стисненні периферії з'єднання, виконуючи зварювання на більш жорстких режимах [2, с. 86-87].

Крім того, обтиснення периферійної зони з'єднання дозволяє запобігати дефектам усадкового характеру (тріщини, пори) [8, с. 62], зменшити глибину вм'ятини від електродів і зазори між деталями в унапуск та її ширину [2, с. 92]. Застосування цього способу контактного точкового зварювання дозволяє також збільшити міцність з'єднань і динамічну міцність шляхом прогину деталей в напрямку осі електродів до початку імпульсу струму [9, с. 65-66], обтисненням під час його дії, або проковуванням периферії з'єднання на стадії охолодження зони зварювання [10, с. 108-111].

Поряд вказаними технологічними можливостями способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання, також удосконалювалися конструкції електродних пристроїв для їх здійснення. У результаті був розроблений ряд електродних пристроїв (рис 5 [2, с. 23]), які відрізняються в основному конструкціями приводів зусиль на електроді або на обтискній втулці.

Пристрій з електромагнітним приводом 6 зусилля на обтискний втулки 3, який наведено на рис. 5б дозволяє отримати практично будь-яку програму зміни зусилля обтиску F_O . Проте в ньому зусилля F_O залежить від осьового зсуву втулки 3 щодо струмопровідного

електрода 2, що зменшує стабільність зусилля обтиску внаслідок відхилень глибини втиснення електрода в поверхню деталі 1. Крім того, за сучасних струмопровідних матеріалів, електромагнітний привод повинен мати котушку значних геометричних розмірів, щоб отримати необхідні зусилля обтиску ($F_0 \approx 0,25...0,5F_{CB}$).

Це ускладнює використання даного електродного пристрою в практиці контактного точкового зварювання.

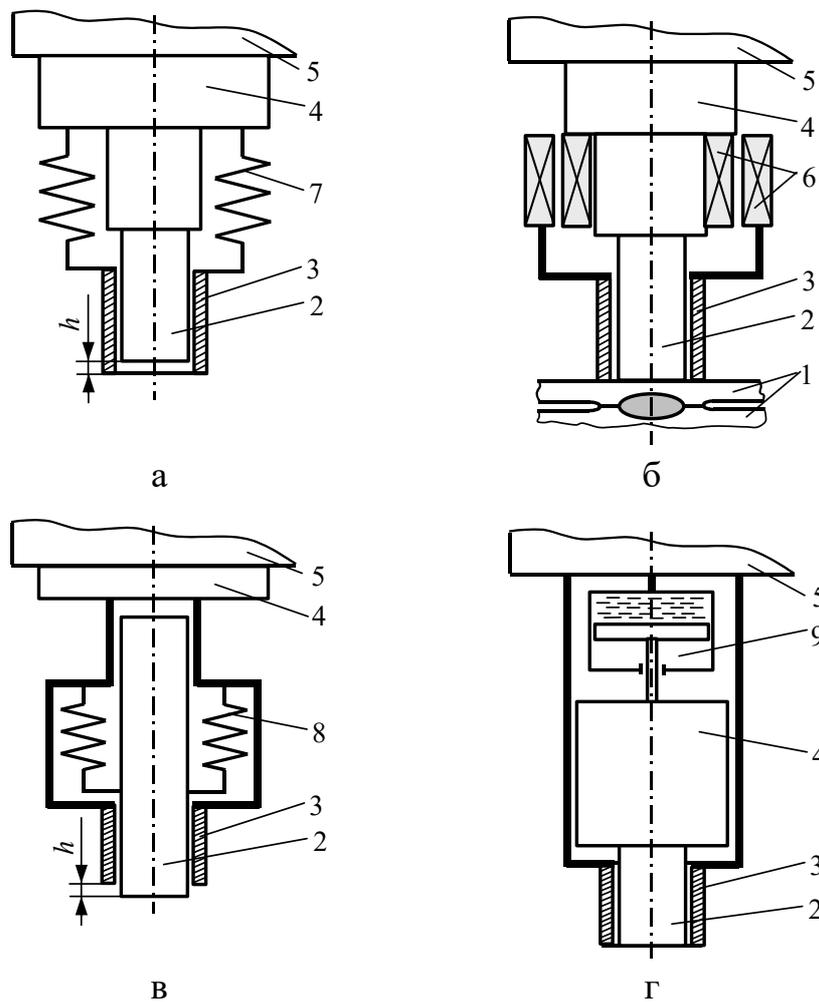


Рис. 5. Схеми електродних пристроїв для контактної точкової зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання: 1 – деталі; 2 – струмопровідний електрод; 3 – обтискна втулка; 4 – електродотримач; 5 – елемент силового приводу зварювальної машини; 6 – електромагнітний привід зусилля на обтискній втулці; 7 – привід зусилля на обтискній втулці, виконаний у вигляді пружного елемента; 8 – привід зусилля на струмопровідному електроді, виконаний у вигляді пружного елемента; 9 – гідравлічний привід зусилля на струмопровідному електроді

Необхідно зазначити, що конструкції електродних пристроїв з пружними елементами в приводах зусилля на обтискній втулці F_O (рис. 4а), або зусилля на струмопровідному електроді F_E (рис. 4в) застосовуються значно частіше. При цьому у них необхідні зусилля забезпечуються шляхом деформації пружних елементів 7 або 8 (рис. 5а, в) на заздалегідь встановлену величину h при стисненні деталей. У першій конструкції таких електродних пристроїв зусилля F_E на електроді 2 задається приводом машини за допомогою силового елемента 5, а на обтискній втулці 3 – пружним елементом 7 (рис. 5а).

У конструкції (рис. 5в) навпаки – привод машини 5 задає зусилля обтиску F_O на обтискній втулці, а на струмопровідному електроді 2 зусилля F_E задається пружним елементом 8.

Незважаючи на деякі конструктивні відмінності, ці електродні пристрої мають однакові переваги (відносно просту конструкцію та незначні габаритні розміри) та загальний недолік – зусилля F_O (рис. 5а), або F_E (рис. 5в) також залежить від переміщення обтискної втулки 3 щодо струмопровідного електрода 2. Це призводить до їх відхилення внаслідок вдавнення струмопровідних електродів 2 в поверхні деталей 1 під час зварювання. Крім того, конструкції цих електродів не цілком задовольняють вимогам технологічності за причиною значної трудомісткості налаштування електрода під час зварювання на необхідне зусилля обтиску внаслідок високої жорсткості пружного елемента.

При цьому їх використання можливе при зварюванні деталей малої товщини, коли величини зусиль F_E і F_O , а отже і жорсткість пружних елементів і взаємні осьові зміщення електрода і втулки в процесі формування з'єднання відносно малі. У цьому випадку відхилення силового впливу на деталі від заданих значень в меншій мірі впливає на якісні показники з'єднань через короткочасність циклу

зварювання та інерційності механічних процесів в силових приводах зварювальних машин.

Найбільш прийнятним для зварювання деталей малих, середніх і великих товщин є електродний пристрій з гідравлічним приводом. У ньому (рис. 5г) зусилля F_0 на обтискній втулці 3 задається приводом машини за допомогою силового елемента 5, а зусилля F_E на струмопровідному електроді 2 – гідроприводом 9. Перевагою даної конструкції є те, що гідропривод можна розташувати у верхній частині електродотримача 4 і зменшити габарити робочої частини пристрою. Але це ускладнює підведення струму до рухомого електродотримача 4. Такий привід дозволяє отримувати стабільні зусилля, що не залежать від осьового зсуву обтискної втулки щодо електрода. Тут слід зазначити, що для нього не розроблено спеціалізовані пристрої, які задають необхідний тиск робочої рідини для контактного точкового зварювання.

При цьому, широкому використанню способів контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання в умовах реального виробництва, незважаючи на їх значну технологічну ефективність, перешкоджають наявні незадовільні робочі характеристики електродних пристроїв, в першу чергу відносно низька стійкість струмопровідного електрода 2. Це обумовлено тим, що обтиснення деталей в області ущільнюючого ободка діаметром d_{Γ} викликає необхідність зменшувати внутрішній діаметр d_{BB} обтискної втулки 3, або відповідно, зовнішній діаметр D_{Δ} робочої частини електрода 2 до значень, які близькі до діаметра ядра $d_{\text{я}}$, що значно менше стандартних. Тому збільшується рівень стискаючих напруг в робочій частині електрода 2, погіршується температурний режим його роботи через підвищення густини зварювального струму та утруднення його охолодження. У результаті інтенсифікуються пластичні

деформації в приконтактних обсягах металу електродів і процеси взаємодії металів в контактах електрод-деталь.

Таким чином, формування точкових зварних з'єднань, як при традиційних способах зварювання, так і під час зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання відбувається за єдиною схемою, а способи контактного точкового зварювання розрізняються між собою в основному кількісними параметрами термодформаційних процесів, що протікають в зоні зварювання на різних етапах формування з'єднання, які визначаються зовнішнім енергетичним і силовим впливом на метал зони зварювання (параметрами режиму).

Процес контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання надає більше можливостей силового впливу на зону зварювання і тому вельми перспективний в технологічному плані.

Висновки. Технології традиційних способів одноточкового контактного зварювання досягли своєї досконалості та практично вичерпали можливості свого розвитку. Вони в багатьох випадках не забезпечують необхідний рівень якості термічних деформаційних процесів, які присутні під час зварювання виробів відповідального призначення. На основі проведеного аналізу технологій і способів контактного точкового зварювання було встановлено, що найбільш придатним способом зварювання тонких пластин є двоточкове контактне зварювання.

Але існуючі способи двоточкового контактного зварювання не забезпечують необхідних показників якості зварних з'єднань тонких пластин за рахунок наявних термодформаційних процесів, що протікають в зоні зварювання. Підвищення якості зварних з'єднань тонких пластин досягається шляхом застосування перспективного способу двоконтактного точкового зварювання з обтисненням

периферійної зони зварювання обтискними втулками.

Література:

1. *Сварка в машиностроении, справочник.* (1979). Под редакцией Ю. Н. Зорина. М., Машиностроение, 1979, 510.
2. Козловский С. Н. (2003). *Основы теории и технологии контактной точечной сварки: монография.* СибГАУ, Красноярск, 2003, 328.
3. Орлов В. Д., Дмитриев Ю. В., Чакалев А. .А. (1975). *Технология и оборудование контактной сварки.* М., Машиностроение, 536.
4. Козловский С. Н. (2006). *Основы теории и технологии программированных режимов контактной точечной сварки.* Сибирский государственный аэрокосмический университет. Красноярск, 259.
5. Биковський О. Г., Лутов Д. М., Пінковський І. В. (2001). *Технологія та обладнання електричного контактного зварювання.* К., Техніка, 240.
6. Кривов Г. О, Зворикін К. О. (2012). *Виробництво зварних конструкцій.* К., КВІЦ, 896.
7. Гилевич В. А. (1976). *Технология и оборудование рельефной сварки.* Л., Машиностроение, 152.
8. Глебов Л. В., Пескарев Н. А., Файгенбаум Д. С. (1981). *Расчет и конструирование машин контактной сварки.* Л., Энергоиздат, 424.
9. Гуляев А. И. (2009). *Технология точечной и рельефной сварки сталей.* М., Машиностроение, 240.
10. Глебов Л. В., Филлипов Ю. И., Чулошников П. Л. (1987). *Устройство и эксплуатация контактных машин.* Л., Энергоатомиздат, 306.

References:

1. *Svarka v mashinostroenii, spravochnik*. (1979). Pod redakciej Ju. N. Zorina. M., Mashinostroenie, 1979, 510.
2. Kozlovskij S. N. (2003). *Osnovy teorii i tehnologii kontaktnoj tochechnoj svarki: monografija*. SibGAU, Krasnojarsk, 2003, 328.
3. Orlov V. D., Dmitriev Ju. V., Chakalev A. A. (1975). *Tehnologija i oborudovanie kontaktnoj svarki*. M., Mashinostroenie, 536.
4. Kozlovskij S. N. (2006). *Osnovy teorii i tehnologii programirovannyh rezhimov kontaktnoj tochechnoj svarki*. Sibirskij gosudarstvennyj ajerokosmicheskij universitet. Krasnojarsk, 259.
5. Bykovskiy O. H. Lutov D. M. Pinkovskiy I. V. (2001). *Tekhnolohiia Ta Obladnannia Elektrychnoho Kontaktnoho Zvariuvannia*. K. Tekhnika 240.
6. Kryvov H. O Zvorykin K. O. (2012). *Vyrobnytstvo Zvarnykh Konstruktsii*. K. KVITs 896.
7. Gillevich V. A. (1976). *Tehnologija i oborudovanie rel'efnoj svarki*. L., Mashinostroenie, 152.
8. Glebov L. V., Peskarev N. A., Fajgenbaum D. S. (1981). *Raschet i konstruirovanie mashin kontaktnoj svarki*. L., Jenergoizdat, 424.
9. Guljaev A. I. (2009). *Tehnologija tochechnoj i rel'efnoj svarki stalej*. M., Mashinostroenie, 240.
10. Glebov L. V., Fillippov Ju. I., Chuloshnikov P. L. (1987). *Ustrojstvo i jekspluatacija kontaktnyh mashin*. L., Jenergoatomizdat, 306.

Citation: V. Baranovsky, V. Lazaryuk, B. Berezhenko, V. Senchishin. (2019). ADVANCED SPOT WELDING TECHNOLOGIES OF THIN-WALLED PARTS. Innovative Solutions in Modern Science. 5(32). doi: 10.26886/2414-634X.5(32)2019.2

Copyright: V. Baranovsky, V. Lazaryuk, B. Berezhenko, V. Senchishin © 2019. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.