

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**КУЗІЮК АНДРІЙ ФЕДОРОВИЧ**

УДК 621.791.763

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО  
ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ**

8.05050401 – технологія та устаткування зварювання

**АВТОРЕФЕРАТ**

дипломної роботи магістра на здобуття освітнього ступеня «магістр»

ТЕРНОПІЛЬ – 2018

Дипломною роботою магістра є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології і обладнання зварювального виробництва Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Кабінету Міністрів України, м. Тернопіль.

**Керівник:  
роботи**

доктор технічних наук, професор  
**Барановський Віктор Миколайович,**  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя,  
професор кафедри технології і обладнання  
зварювального виробництва

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, доцент  
**Паньків Марія Романівна,**  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя,  
професор кафедри технології машинобудування

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Контактне точкове зварювання – це один із способів контактного зварювання, який найбільш широко застосовується в машинобудуванні, особливо в масовому виробництві. Так, наприклад, в автомобілебудуванні близько 70% обсягу зварювальних робіт виконується цим способом. Також застосовують контактне точкове зварювання в інших галузях народного господарства: в тракторному та сільськогосподарському машинобудуванні, в галузях промисловості, будівництва тощо.

Цей вид зварювання став невід’ємним процесом висококомеханізованих масових виробництв і є один із небагатьох способів, який дозволяє з’єднувати практично всі відомі метали і сплави, забезпечуючи високу стабільність і якість з’єднання.

Разом з тим, існує ряд недоліків застосування контактного точкового зварювання для отримання нероз’ємних з’єднань у виробках відповідального призначення з сучасних конструкційних матеріалів, які працюють за підвищених температур, в агресивних середовищах, при динамічних навантаженнях.

Тому дослідження технологічних процесів контактного двоточкового зварювання, які направлено на обґрунтування параметрів і режимів зварювання, є актуальним і важливим народногосподарським завданням.

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є підвищення технологічної ефективності зварювання пластин шляхом застосування способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з’єднання обтискними втулками.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- на основі проведеного аналізу технологічних процесів і способів зварювання пластин обґрунтувати доцільність застосування контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з’єднання обтискними втулками;

- провести теоретичний аналіз основних термодіформаційних процесів, які виникають в зоні двоконтактного точкового зварювання;

- провести експериментальні дослідження зміни зусилля стиснення пластин двоконтактним точковим зварюванням залежно від параметрів процесу.

*Об’єкт дослідження* – технологічний процес контактного точкового зварювання пластин.

*Предмет дослідження* – параметри та режими контактного точкового зварювання пластин.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження базувалися на фізико-математичному моделюванні процесу двоконтактного точкового зварювання тонких пластин із використанням основних положень фізики, вищої математики і термодинамічної механіки. Експериментальні дослідження процесу зварювання тонких пластин проводились у лабораторних умовах згідно з методикою математичного планування та проведення багатофакторних експериментів. Розрахунки теоретичного аналізу та обробка експериментальних даних проводилися з використанням прикладних програм для комп’ютера.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Обґрунтовано технологічний процес і основні силові параметри та режими з'єднання пластин способом двоконтактного точкового зварювання.

На цій підставі одержано:

- аналітично-емпіричні залежності, які характеризують функціональний процес зміни зусилля стиснення пластин струмопровідними електродами;
- залежність, яка характеризує зміну середніх значень нормальних напружень в контактній деталь-деталь в процесі формування зварного з'єднання.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано та обґрунтовано технологію з'єднання тонких пластин удосконаленим способом двоконтактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони зварювання обтискними втулками та визначено його основні параметри і режими зварювання. Запропоновано рекомендації до застосування способу зварювання тонких пластин та вибору раціональних параметрів і силових режимів термомодеформаційних процесів, які виникають під час зварювання.

**Апробація роботи.** Основні положення та результати досліджень магістерської роботи доповідалися та отримали позитивну оцінку на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 23-24 листопада 2018 р. (м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018 р.)

**Публікації.** Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 тезах конференції.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаної літератури зі 69 найменувань. Основна частина виконана на 139 сторінках, містить 26 рисунків та 17 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання, об'єкт і предмет досліджень, методи досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

**У аналітичній частині** наведено класифікацію контактного зварювання, аналіз технологічних процесів і способів контактного точкового зварювання, конструкцій зварювальних машин, а також обґрунтовано вибір способу зварювання пластин для проведення досліджень.

В основу побудови класифікації способів контактного зварювання (рис. 1) покладено такі критерії систематизації: за конструкцією з'єднання; за способом з'єднання; за кількістю точок з'єднання; за станом металу.

Контактне точкове зварювання (КТЗ), є одним із способів контактного зварювання, за якого зварні деталі розташовуються перед зварюванням один до одного, а потім притискаються зусиллям зварювання, яке надається струмопровідним електродам. В подальшому від джерела струму (живлення), наприклад, трансформатора, пропускають імпульс зварювальної сили струму визначеної тривалості, що призводить до зварювання деталей зварними точками на окремих ділянках їх торкання. Для утворення фізичного контакту між деталями



Рис.1. Класифікація контактеного зварювання

проходить; утворення спільної зони розплавленого металу (ядра) та його кристалізація на останній стадії формування з'єднань; утворення мікроскопічних деформацій металу в контактах і макроскопічних деформацій в зоні формування з'єднання.

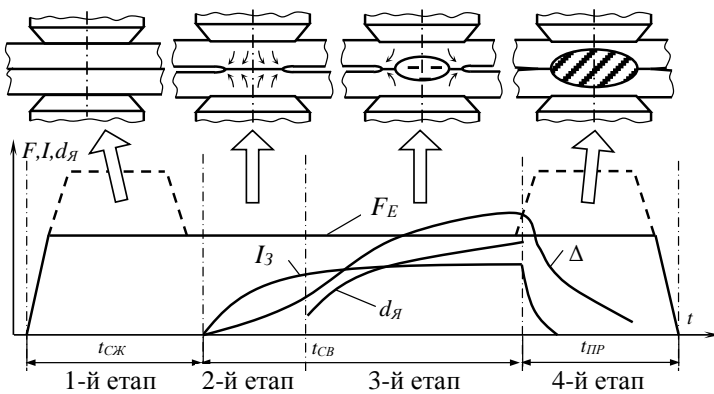


Рис. 2. Схема основних процесів формування точкового з'єднання

1-й етап – від початку стиснення деталей електродами зусиллям  $F_E$  до початку імпульсу струму  $I_3$ ; 2-й етап – від початку імпульсу струму  $I_3$  до початку розплавлення металу в контакті деталь-деталь (до початку формування ядра); 3-й етап – від початку формування ядра діаметром  $d_я$  в контакті деталь-деталь до закінчення імпульсу зварювального струму  $I_3$ ; 4-й етап – від закінчення імпульсу зварювального струму  $I_3$  до зняття зусилля  $F_E$  стиснення деталей електродами.

У зв'язку з цим досить перспективним напрямком розвитку технології КТЗ, є вдосконалення та розробка нових способів точкового зварювання пластин з цілеспрямованим програмованим впливом на процес формування з'єднання, яке реалізується шляхом застосування контактеного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання обтискними втулками, рис. 3.

(поверхнями), що зварюються та їх активації в місці формування з'єднання під час КТЗ витрачається теплова та механічна енергія, яка підводиться ззовні електродами, що стискають деталі та пропусканням через зону зварювання імпульсу зварювального струму.

Термодеформаційні процеси, що протікають в зоні формування точкового зварного з'єднання, відповідно, до значущості їх впливу на кінцевий результат зварювання прийнято умовно розділяти на основні та супутні процеси.

До основних термодеформаційних процесів відносять: нагрівання та розплавлення металу струмом, що

Цикл зварювання у часовій послідовності розділяють на чотири етапи (рис. 2), які відрізняються не тільки значимістю впливу будь-якого з основних чинників на процес формування з'єднання, а також основними технологічними завданнями, які виконуються поєднанням параметрів режиму зварювання в цей період: 1-й етап – від початку стиснення деталей електродами зусиллям  $F_E$  до початку імпульсу струму  $I_3$ ; 2-й

При КТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання зварювальні деталі стискають струмопровідними електродами зусиллям  $F_E$  і прикладають навколо них за допомогою обтискних втулок автономне додаткове стискуjące зусилля  $F_O$ .

Електрод 3 містить концентрично розташовану навколо нього обтискну втулку 2, яку з'єднано з приводом обтиску, яким служить пружний елемент.

У науково-дослідній частині наведено аналітичний аналіз термодформаційних процесів: процесу зближення та деформування пластин; процесу силової взаємодії контакту електрод-деталь і деталь-деталь; методику проведення та результати експериментальних досліджень.

Зварна точка є результатом складних термодформаційних процесів, що протікають в зоні формування з'єднання протягом циклу зварювання. Деякі з цих процесів протікають послідовно, а деякі – паралельно. Параметри останніх залежать не тільки від зовнішнього енергетичного і силового впливу на метал в зоні зварювання, а й від складного їх взаємного впливу.

Реальна деформація деталей, що зварюються в процесі їх зближення (рис. 4) є складним поєднанням ознак, близьких, як до чистого вигину пластини (рис. 4а),

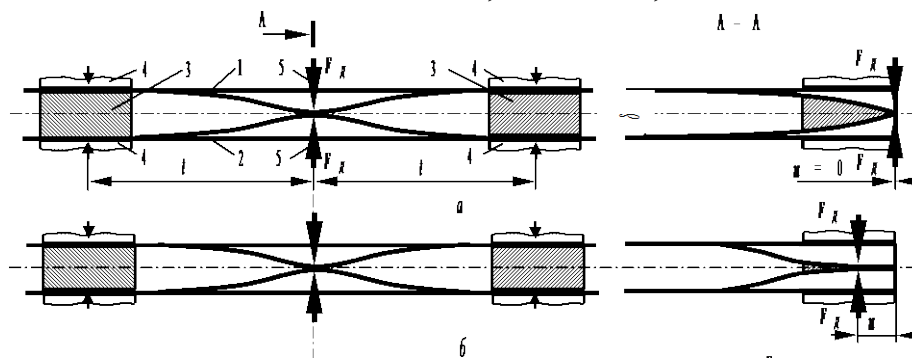


Рис. 4. Схема деформації зварювальних деталей: 1, 2 – деталі; 3 – прокладка, що регулює величину зазору  $\delta$ ; 4 – стискаючі струбцини; 5 – електродний пристрій

деталь-деталь відрізняється від зусилля стиснення  $F_E$  деталей електродами. Причиною цього є зазори, які призводять до того, що деяка частина зусилля стиснення деталей  $F_D$  витрачається на деформування деталей, що зварюються при їх зближенні до зіткнення. Внаслідок цього зусилля в площі зварювального контакту  $F_3$  менше зусилля стиснення електродів  $F_E$  на величину  $F_D$ .

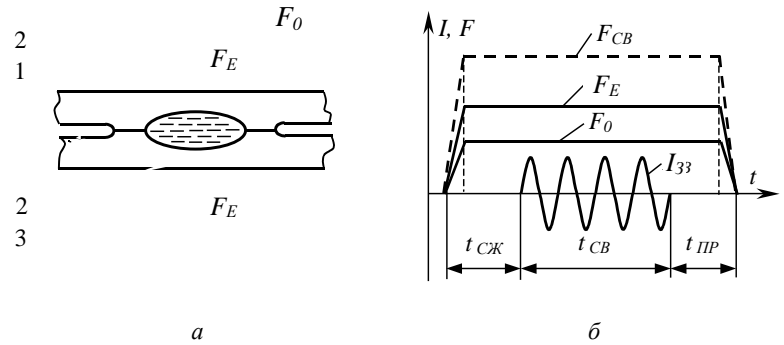


Рис. 3. Схема (а) та цикл зміни параметрів режиму (б) двостороннього КТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання:  
1 – деталі; 2 – обтискні втулки;  
3 – струмопровідні електроди

Розрахункове визначення величини  $F_D$  можна визначити шляхом рішення відомого рівняння С. Жермен-Лагранжа, що описує прогин пластинки

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}, \quad (1)$$

де  $w$  – величина прогину пластинки;  $x, y$  – координати;  $q$  – зовнішнє навантаження;  $D$  – циліндрична жорсткість листа, при цьому

$$D = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2)$$

де  $E$  – модуль пружності;  $s$  – товщина листа;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

У процесі проведення експериментальних досліджень значення зусилля  $P_D$

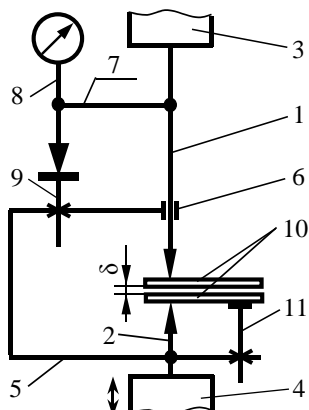


Рис. 5.

Кінематична схема  
установки

моделювали у вигляді комплексного впливу ряду технологічних факторів точкового зварювання: під час проведення двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  як функціонал  $P_{1D} = f_1(t, \delta)$ , де  $t$  – відстань між звареними точками,  $\delta$  – величина зазору між звареними точками; під час проведення двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  як функціонал  $P_{2D} = f_1(u, s)$ , де  $u$  – відстань від кромки листа до звареної точки,  $s$  – товщина деталей. При цьому приймали постійні значення  $t^* = const$  – відстань до суміжних зварених точок;  $r_E = const$  – радіус сфери робочої поверхні електродів.

Деформацію зразків проводили на експериментальній установці з застосуванням розривної машини УММ-5, рис. 5.

Верхній 1 і нижній 2 електродотримачі з установленими в них електродами закріплено в губках розривної машини 3 і 4. На нижньому електродотримачі 2 жорстко закріплено направляючу скобу 5, в пазу 6 якого верхній електродотримач 1 встановлено з можливістю осьового переміщення. На кронштейні 7 верхнього електродотримача 1 жорстко закріплено індикатор переміщення годинникового типу 8 з можливістю установки нуля регулювальним гвинтом 9. Деталі 10 між електродами перпендикулярно їх осі, а пристосування 11 служить для фіксації просторового положення деталей, що деформуються.

Прогин  $z$  одного деформованого листа деталей 10 визначали з точністю  $\pm 0,005$  мм за формулою

$$z = (l - \Delta h) / 2, \quad (3)$$

де  $l$  – відстань зближення електродів 1 і 2;  $\Delta h$  – величина відхилення відстані зближення деталей 10 і 11 (середньостатистична поправка), яка залежить від деформації одного листа зусиллям стиснення  $P_D$ , яке визначали за показником шкали індикатора 8 з точністю  $\pm 10$  Н.

Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі за критерієм Фішера та оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Студента, одержано рівняння регресії, яке характеризує та функціонально описує зміну зусилля стиснення пластин  $F_{1D}$  та  $F_{2D}$  залежно від параметрів процесу

зварювання

$$F_{1Д} = -0,82 + 0,05t + 1,5\delta - 0,004t\delta - 0,0004t^2 - 0,15\delta^2; \quad (4)$$

$$F_{2Д} = 0,28 + 0,27u - 0,78s + 0,02us - 0,007u^2 + 0,19s^2. \quad (5)$$

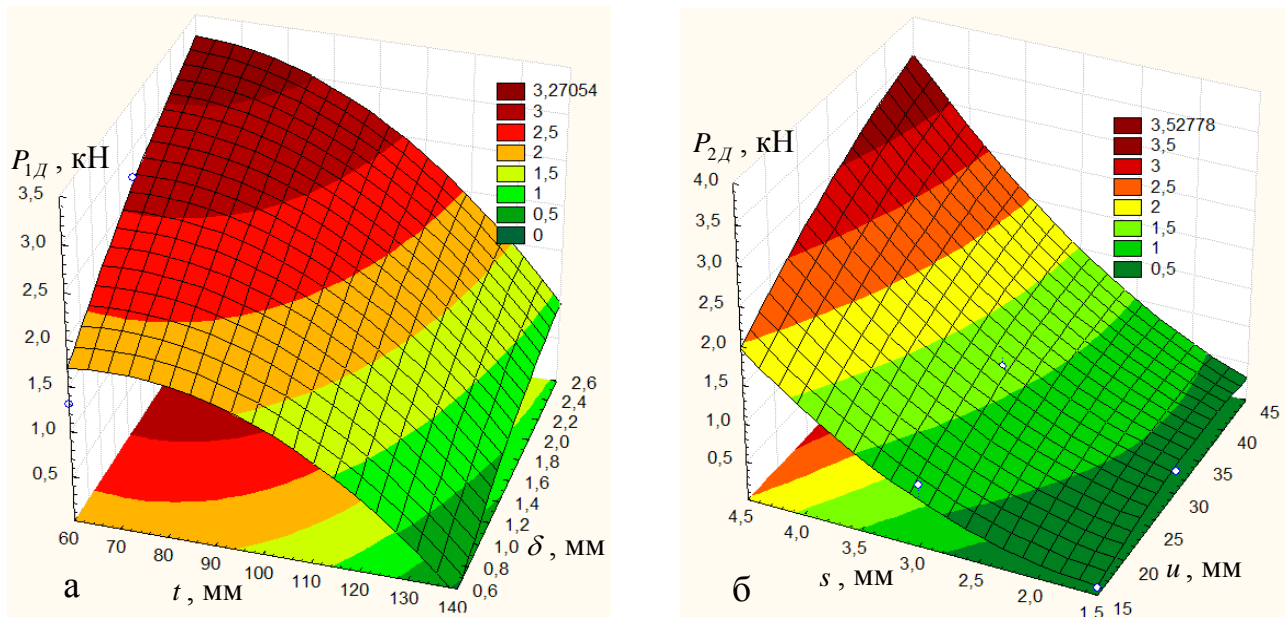


Рис. 6. Поверхня відгуку зміни зусилля стиснення електродів  $P_{iД}$  як

функціонал: а –  $P_{1Д} = f_1(t, \delta)$ ; б –  $P_{2Д} = f_1(u, s)$

На основі аналізу емпіричних моделей (9), (10) та поверхні відгуку зміни зусилля стиснення електродів  $F_{iД}$  (рис. 6) у вигляді апроксимуючих функцій  $F_{1Д} = f_1(t, \delta)$  і  $F_{2Д} = f_2(u, s)$ , встановлено, що зі збільшенням відстані між зварними точками  $t$  у межах  $60 \leq t \leq 140$  мм зусилля стиснення пластин  $F_{1Д}$ , яке знаходиться у діапазоні зміни  $F_{1Д} = 0,1 \dots 3,4$  кН зменшується, причому значний спад  $F_{1Д}$  спостерігається за значення  $t \geq 100$  мм – від 1,5 до 0,1 кН.

На ділянці зміни  $60 \leq t \leq 80$  мм зусилля стиснення електродів  $F_{1Д}$  зменшується всього на 0,2 кН. Збільшення всіх інших факторів – величини зазору між зварними точками  $\delta$ , відстані від кромки листа до зварної точки  $u$ , товщини деталей  $s$ , призводить до зростання зусилля стиснення пластин, як зусилля  $F_{1Д}$ , так і зусилля  $F_{2Д}$ , яке змінюється у діапазоні  $F_{2Д} = 0,1 \dots 3,5$  кН.

При цьому домінуючим фактором, який найбільш суттєво впливає на збільшення зусилля стиснення пластин, є товщина деталей  $s$  – інтенсивність приросту  $F_{2Д}$  від 0,3 до 4,5 кН спостерігається за значення  $s \geq 3$  мм.

У технологічній частині наведено характеристику та технічні вимоги на зварювальний виріб, технологію зварювання тонких пластин, приведено вибір основного та допоміжного устаткування та розрахунок основних параметрів і режимів зварювання.

У конструкторській частині наведено обґрунтування вибору та розрахунок технологічного обладнання для виготовлення зварної конструкції.

У спеціальній частині наведено силовий розрахунок зубчастої передачі



спеціального пристосування для виготовлення зварної конструкції.

У частині «Обґрунтування економічної ефективності» наведено розрахунки економічного ефекту, при цьому розрахований річний економічний ефект від впровадження нової технології зварювання тонких пластин становить 780604,42 грн, термін окупності капіталовкладень становить 0,9 року.

У частинах «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» і «Екологія» наведено викладення, які характеризують основні заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності і екології навколишнього середовища.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено наукове завдання підвищення технологічної ефективності зварювання пластин шляхом застосування способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони зварювання обтискними втулками.

1. На формування початкових контактів і процес зварювання загалом значно впливають: геометричний фактор, який є наслідком викривлення деталей при їх деформації в процесі зближення; силовий фактор, який є наслідком відхилення зусилля стиснення в контакті деталь-деталь від зусилля стиснення електродів.

2. Найбільш оптимальні умови формування зварного з'єднання пластин відбуваються в кінці процесу зварювання, або коли сила пружності деталей передається в контур ущільнюючого ободка за величиною не менше 50% зусилля стиснення в площині ущільнюючого ободка, яке необхідне для умови відсутності виплесків.

3. Встановлено, що зі збільшенням відстані між зварними точками у межах  $60 \leq t \leq 140$  мм зусилля стиснення пластин, яке знаходиться у діапазоні зміни  $F_{1д} = 0,1 \dots 3,4$  кН зменшується, причому значний спад спостерігається за значення  $t \geq 100$  мм – від 1,5 до 0,1 кН. Домінуючим фактором, який суттєво впливає на збільшення зусилля стиснення пластин, є товщина деталей  $s$  – інтенсивність приросту від 0,3 до 4,5 кН спостерігається за значення  $s \geq 3$  мм.

4. Річний економічний ефект від впровадження нової технології зварювання пластин становить 780604,42 грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

### *Тези наукових конференцій*

1. Кузюк А.Ф. Удосконалений спосіб контактного точкового зварювання тонких пластин / А.Ф. Кузюк, І.Ю. Саковець // Актуальні задачі сучасних технологій : тези доповіді VII Міжн. наук.-практич. конф. молодих вчених і студентів, 27-28 листопада 2018 р. – Тернопіль, ТНТУ, 2018. – Т. 1. С. 231.

## АНОТАЦІЇ

Кузюк А.Ф. Вдосконалення технологічного процесу контактного точкового

зварювання тонкостінних деталей. – Рукопис.

Дипломна робота магістра на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 8.05050401 – технологія та устаткування зварювання. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2018.

Магістерська робота присвячена вирішенню наукової задачі підвищення технологічної ефективності зварювання пластин шляхом застосування способу контактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони зварювання обтискними втулками, під час якого зварювальні деталі стискають струмопровідними електродами, а навколо них за допомогою обтискних втулок прикладають автономне додаткове стискаюче зусилля (зусилля обтиску). На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано основні силові параметри термодинамічних ефектів контактного точкового зварювання.

Ключові слова: технологія, контактне зварювання, силова рівновага, ядро металу, обтискні втулки, силові параметри.

Kuziuk A.F. Improvement of the technological process of contact precision welding of thin-walled parts. – Manuscript.

Master's Thesis on qualification degree specialty 8.05050401 – welding equipment and technology. – Ternopil National Technical University Ivan Puluj, Ternopil, 2018.

Master's thesis is devoted to solving scientific problem increase technological efficiency welding plates by applying the method two welding spot welding of compression of the peripheral zone of welding crimping sleeves in which welding parts grip conductive electrodes, and around them using crimp sleeves applied autonomous additional squeezing effort (effort crimpers). On the basis of theoretical and experimental studies proved the basic power parameters of thermodynamic effects of resistance spot welding.

Keywords: technology, welding, power balance, core metal, blooming bushes, power settings.