

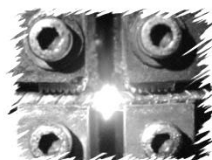
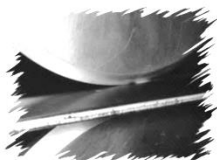
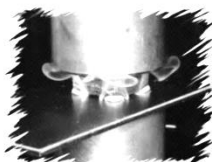
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ
КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НА ЯКІСТЬ
ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ**

з дисципліни
«Технологія та устаткування зварювання тиском»
для студентів спеціальності
131 «Прикладна механіка»
освітньої програми
«Технології та устаткування зварювання»
всіх форм навчання



Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 1
«Дослідження впливу зміни параметрів режиму контактного
точкового зварювання на якість зварного з'єднання» з дисципліни
«Технологія та устаткування зварювання тиском» для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми
«Технології та устаткування зварювання» всіх форм навчання / Укл.:
Куликовський Р.А. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 26 с.

Укладач: Р.А. Куликовський, доцент, к.т.н.

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: Р.А. Куликовський

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 3
від 27.10.2016 р.

Рекомендовано до видання
НМК Інженерно-фізичного
факультету
Протокол № 3
від 15.11.2016 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
2.1 Сутність та схема точкового контактного зварювання.....	4
2.2 Вплив параметрів режиму точкового контактного зварювання на формування головних конструктивних елементів литої зони зварних з'єднань.....	6
2.3 Дефекти зварних з'єднань та причини їх утворення.....	15
2.4 Вибір та встановлення на машині режимів контактного точкового зварювання.....	17
2.5 Визначення міцності зварних з'єднань виконаних точковим контактним зварюванням.....	20
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	23
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	23
5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ	24
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	24
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ.....	25
8 ЗМІСТ ЗВІТУ.....	25
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	26

1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження та аналіз впливу параметрів точкового контактного зварювання на характер формування та якість зварного з'єднання, засвоєння навичок визначення та встановлення оптимальних параметрів режиму зварювання.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Сутність та схема точкового контактного зварювання

Точкове контактне зварювання – це контактне зварювання напусткових з'єднань заготовок точковими швами, під час якого нагрівання та плавлення з'єднуваних поверхонь відбуваються у межах точкового контакту між (під) електродами, що проводять електроенергію та здійснюють тиск.

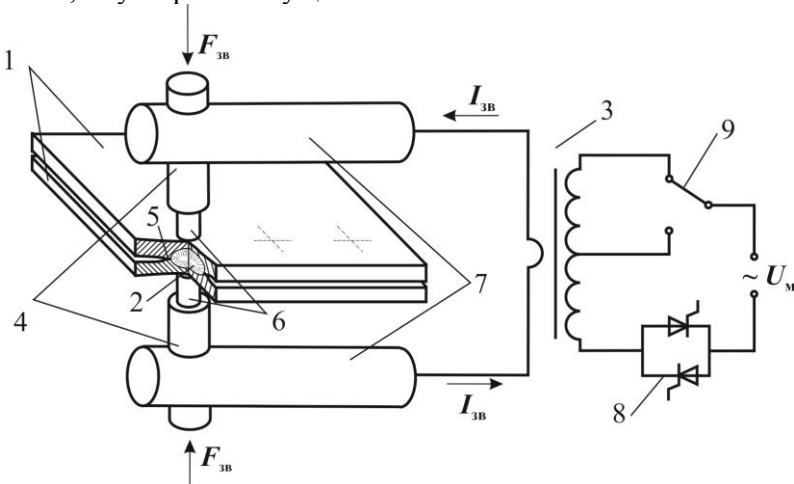
Нагрівання провідника струмом обумовлене зіткненням валентних електронів, які направлено рухаються з іонами та збільшенням амплітуди коливання останніх від енергії що передається електронами.

Загальна кількість теплової енергії Q_{ee} (Дж), необхідної для нагрівання та плавлення з'єднуваних поверхонь, що виділяється між електродами при проходженні електричного зварювального струму $I_{зв}$ (А) за виділений час зварювання $t_{зв}$ (с) через твердий або рідкий провідник з опором r_{ee} (Ом) визначається за **законом Джоуля-Ленца** залежністю:

$$Q_{ee} = I_{зв}^2 r_{ee} t_{зв}.$$

Кожний цикл контактного точкового зварювання починається з попереднього стискування електродами 6 деталей 1 зусиллям $F_{зв}$ (Н) для утворення між ними механічного контакту (рис. 2.1). При цьому відбувається пластична деформація мікронерівностей в контактах електрод-деталь та деталь-деталь. Після ввімкнення контактором на час зварювання $t_{зв}$ джерела живлення 3 зварювального струму $I_{зв}$ метал зварюваних деталей в зоні електрод-електрод починає нагріватися, полегшується вирівнювання мікрорельєфу, руйнуються поверхні плівок, та формується електричний контакт. Нагрівання зони

зварювання та її пластична деформація від зусилля зварювання $F_{зв}$ супроводжується збільшенням об'єму металу що нагрівається. Як наслідок цих процесів нагрітий метал деформується в зазор між деталями, та утворюється ущільнюючий пасок.



1 – зварювані деталі, 2 – ядро, 3 - зварювальний трансформатор, 4 – електродотримачі, 5 – ущільнюючий пасок, 6 – електроди, 7 - струмовідвід; 8 - тиристорний контактор, 9 – перемикач ступенів зварювального трансформатора

Рисунок 2.1 – Принципова схема контактної точкової зварювання

При подальшому проходженні струму утворюється зона взаємного розплавлення деталей, що зветься **ядром**. Попередньо утворений ущільнюючий пасок надійно оберігає рідкий метал від виплеску розплаву та навколишнього повітря. Тому спеціального захисту зони зварювання не потрібно. Ядро росте до максимальних розмірів - по висоті та діаметру. Формування ядра відбувається під тиском при переважному тепловиділенні в зоні контакту, інтенсивному тепловідводу в електроди та метал і пластичній деформації. При цьому відбувається перемішування рідкого металу ядра та його вирівнювання за складом електромагнітним полем, утвореним зварювальним струмом. Видаляються поверхневі плівки та утворюються металеві зв'язки в рідкій фазі.

Після виключення струму розплав під тиском швидко кристалізується, утворюються металеві зв'язки між з'єднуваними деталями – формується лита зона зварного з'єднання. При охолодженні зменшується об'єм металу та виникають залишкові

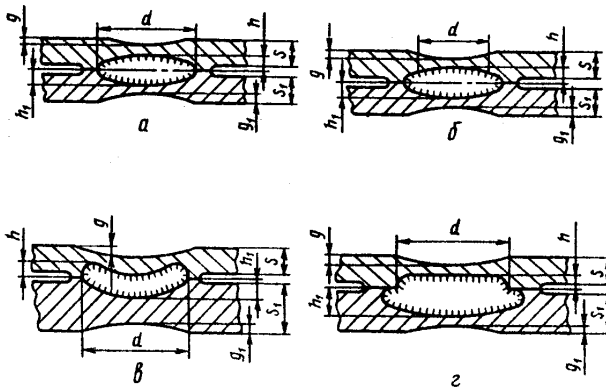
напруження. Для зниження рівня цих напружень та запобігання усадочних тріщин та раковин необхідні значні зусилля.

Для отримання наступного з'єднання цикл зварювання після паузи знову повторюється.

Лите ядро точки у більшості металів має дендритну структуру, яка спостерігається у метала, відлитого в металеву форму (кокіль). Лите ядро оточене навколо зоною термічного впливу, структура та властивості металу якої змінились в результаті нагрівання в процесі зварювання.

2.2 Вплив параметрів режиму точкового контактного зварювання на формування головних конструктивних елементів литої зони зварних з'єднань

Лита зона, що утворюється при точковому контактному зварюванні регламентована за ГОСТ 15878-79. Основним конструктивним елементом литої зони є розрахунковий (мінімальний) діаметр ядра $d_{\text{я}}$ (рис. 2.2, а). Його вимірюють в площині сполучення деталей. Розмір ядра встановлюють виходячи з умови отримання необхідної та стабільної міцності. Фактичний діаметр у вузлах повинен бути не менш регламентованого. Для з'єднання різнойменних металів $d_{\text{я}}$ визначають як найменший діаметр литої зони (рис. 2.2, г).



а – неплаковані метали, б – плаковані метали; в – деталі нерівної товщини, г – різнойменні деталі

Рисунок 2.2 – Конструктивні елементи з'єднань виконані точковим контактним зварюванням

Максимальні розміри ядра обмежують через можливість утворення різних дефектів, зниження стійкості електродів, встановлюючи верхню межу на 15...20 % більше мінімально припустимих (при товщині деталей $s \geq 0,5$ мм).

Іншим важливим конструктивним елементом литої зони зварного з'єднання є проплавлення A . Проплавлення визначається як відношення відстані a від лінії з'єднання до границі литої зони до товщини деталі s . Проплавлення визначають для кожної деталі (A_1 , A_2), що входить до з'єднання (див. рис. 2.2):

$$A_1 = a_1 100\%/s_1; A_2 = a_2 100\%/s_2.$$

Для більшості металів величина проплавлення не повинна виходити за межі 20...80%. Мінімальні значення проплавлення відповідають проплавленню тонкої деталі при зварюванні деталей нерівної товщини. На титанових сплавах верхню межу збільшують до 95%, на магнієвих – зменшують до 70%. При зварюванні трьох або більше деталей нормальним є наскрізне проплавлення середніх деталей.

Розміри та розташування ядра зварного з'єднання, його структура та зони термічного впливу в першу чергу визначаються співвідношенням параметрів режиму зварювання – силою струму $I_{зв}$, часом зварювання $t_{зв}$, зварювальним зусиллям $F_{зв}$, розміром та формою робочої поверхні електрода d_e або R_e та їх властивостями.

Вплив зварювального струму $I_{зв}$ та часу зварювання $t_{зв}$ на характер формування ядра добре простежується по графічному зображенню закону Джоуля-Ленца. За умови, що $d_{я} = const$, та середнє значення опору між електродами $r_{ее} = const$, закон Джоуля-Ленца має вигляд гіперболічної залежності квадрату величини струму від часу зварювання, яка може бути представлена двома кривими, що обмежують мінімальні та максимальні допустимі рівні проплавлення (згідно з ГОСТ допустимий рівень проплавлення знаходиться в межах 0,2...0,8 від товщини деталі). Горизонтальні та вертикальні ділянки кривих мають асимптотичний характер наближення до осей $t_{зв}$ та $I_{зв}$ (рис. 2.3). З графіка видно, що процес контактного зварювання в залежності від обраного режиму може протікати в одній з трьох характерних областей: область повного непровару, область провару

обмеженою мінімально та максимально допустимими рівнями проплавлення та точками АВFH) та область зварювання з виплесками.

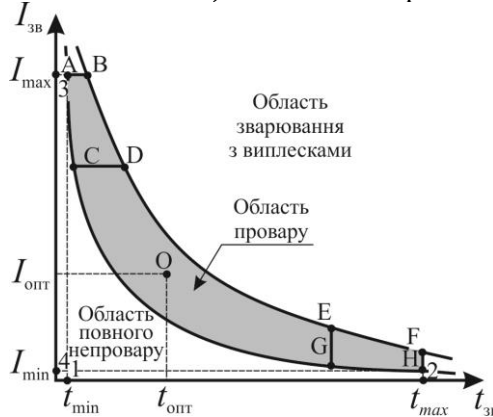


Рисунок 2.3 – Вплив співвідношення зварювального струму $I_{зв}$ та часу зварювання $t_{зв}$ на положення характерних областей та зон режимів контактного зварювання

На рис. 2.4 подано залежність міцності точки від тривалості ввімкнення зварювального струму $t_{зв}$. Всі параметри процесу при цьому окрім $t_{зв}$ залишаються незмінними. Аналогічну залежність дає зварювання зразків з поступовим збільшенням струму $I_{зв}$ при $t_{зв} = const$. Данні залежності характерні для любого матеріалу та мають круту ділянку LM, що відповідає зварюванню без розплавлення, та полого частину MO при зварюванні з розплавленим ядром, що поступово збільшується. Якщо з області провару (точка O) (див. рис. 2.3 та 2.4) збільшувати $t_{зв}$ кількість теплової енергії що виділяється, а відповідно, розміри та міцність з'єднання почнуть збільшуватись, але не безмежно (див. рис. 2.3 та 2.5). Через деякий визначений час $t_{зв}$ при заданих $I_{зв}$, $t_{зв}$ та $F_{зв}$ існує критичне значення $t_{зв}$, при якому якість зварного з'єднання різко погіршиться за рахунок значних виплесків, та збільшених даремних теплових втрат. Обраний режим зварювання потрапить в область з виплесками. Точно такий же вплив на якість зварного з'єднання чинить і збільшення зварювального струму. Тому отримання на тих самих деталях зварних з'єднань однакового розміру та якості можливо тільки при визначених співвідношеннях цих параметрів. Зменшення в відомих межах $I_{зв}$ може бути скомпенсоване відповідним збільшенням $t_{зв}$ та навпаки. Аналогічно ці параметри впливають і на проплавлення A. Точки стабільної міцності (постійного

перерізу) отримують тільки при зварюванні з розплавленням, тому що при зварюванні без розплавлення через крутизну ділянки AB навіть незначні коливання $t_{зв}$ та інших параметрів, що впливають на нагрів, значно змінюють їх міцність. Таким чином в області провару можна виділити три характерних зони режимів:

- зона **жорстких режимів** ABCD (відносно великий $I_{зв}$ та малий $t_{зв}$), при яких на глибину проплавлення впливає тільки час зварювання. При цьому лита зона розвивається найбільш інтенсивно та внаслідок малого впливу тепловідводу величина проплавлення найбільша. Ізотерма температури ліквідусу ядра має при цьому в перерізі форму близьку до прямокутника (рис. 2.6), кути котрого витягнути в сторону зон з підвищеною щільністю струму (до периферії контактів). Подальше збільшення струму не викликає збільшення провару, але вимагає невиправданого збільшення потужності машини. Зона складає приблизно 15% загальної області зварювання з проваром;

- зона **середніх режимів** CDEG, при яких глибину проплавлення можна регулювати як зміною $I_{зв}$, так зміною $t_{зв}$ в відносно широкому діапазоні значень. Зона складає приблизно 70% загальної області зварювання з проваром;

- зона **м'яких режимів** GEFH (малі $I_{зв}$ та великі $t_{зв}$), при яких глибина проплавлення змінюється тільки за рахунок зміни струму в дуже вузькому діапазоні значень. При цьому ріст проплавлення припиняється раніше, ніж діаметр ядра, так як через інтенсивний тепловідвід температура в осьовому напрямленні стабілізується раніше, ніж в радіальному. Ізотерма форми ліквідусу ядра має форму овалу або еліпсу (рис. 2.6). Подальше підвищення часу зварювання не збільшує ні проплавлення, ні ядро точки. При цьому знижується продуктивність праці, збільшуються витрати електроенергії, відбувається перегрів металу ядра, значний теплообмін між зварюваними деталями та деталей з електродами. Зона складає приблизно 15% загальної області зварювання з проваром.

Точки 1 та 2 (див. рис. 2.3) вказують мінімально та максимально допустимий час зварювання даної товщини даних матеріалів, при яких ще можна отримати мінімально допустиме проплавлення на максимальному та мінімальному струмах, що відповідають точкам 3 та 4.

Форма та розташування литої зони при зварюванні на жорсткому режимі, в основному, визначається характером розподілу щільності струму в контакті деталей-деталь, яка в свою чергу, залежить від співвідношення товщини зварюваних деталей та розмірів робочої поверхні електродів. Крім того, так як зварювання відбувається при малих $t_{зв}$, процеси тепловідводу практично не впливають на формування литої зони. При зварюванні на м'якому режимі форма та розташування литої зони відносно площини деталей залежать від процесів тепловідводу в метал зварюваних деталей та в електроди.

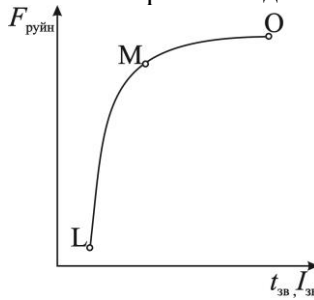


Рисунок 2.4 – Вплив тривалості зварювання $t_{зв}$ та струму зварювання $I_{зв}$ на міцність зварної точки

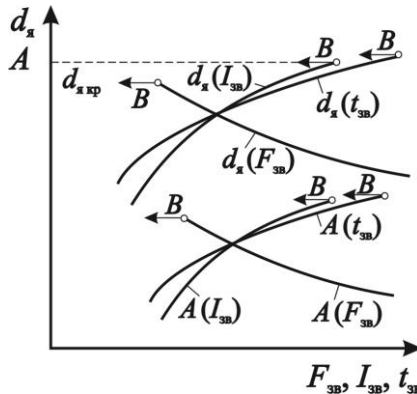


Рисунок 2.5 - Вплив струму $I_{зв}$, зусилля зварювання $F_{зв}$ та тривалості зварювання $t_{зв}$ на діаметр ядра $d_я$ та проплавлення A (B – виплеск)

Особливо істотно на розташування литої зони впливає характер режиму зварювання (жорсткий або м'який) при з'єднанні деталей різної товщини, а також металів з різними теплофізичними властивостями. При зварюванні тонкої деталі з більш товстою ядро зсувається в товсту деталь тим більше (рис. 2.7 а), чим м'якше режим

зварювання і навпаки при зварюванні на жорстких режимах лита зона розташовується практично симетрично площині деталей що поєднуються. Формування литої зони при зварюванні на м'якому режимі аналогічно формуванню литої зони в одному листі, товщина котрого дорівнює сумарній товщині двох деталей. Так при 4...5 - кратній відмінності у товщині ядро без регулювання тепловідводу взагалі не торкається тонкої деталі.

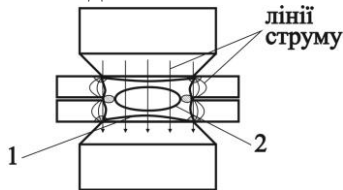
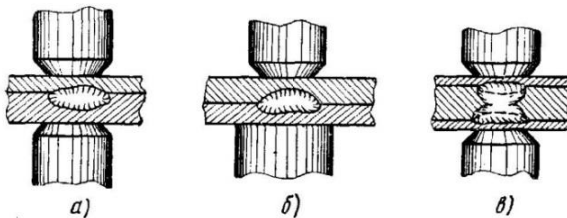


Рисунок 2.6 – Форма ядра при зварюванні на жорстких (1) та м'яких (2) режимах. Заштриховані зони найбільшої щільності струму

При зварюванні на м'якому режимі електродами різного діаметру ядро зміщується в сторону електроду меншого діаметру (рис. 2.7, б). У випадку зварювання трьох деталей ядра спочатку утворюється на ділянках їх контакту, а потім обидва ядра зливаються (рис. 2.7, в).



а – зварювання деталей різної товщини однаковими електродами; б – зварювання деталей однакової товщини різними електродами; в – зварювання товстої деталі в середині та двох тонких ззовні однаковими електродами

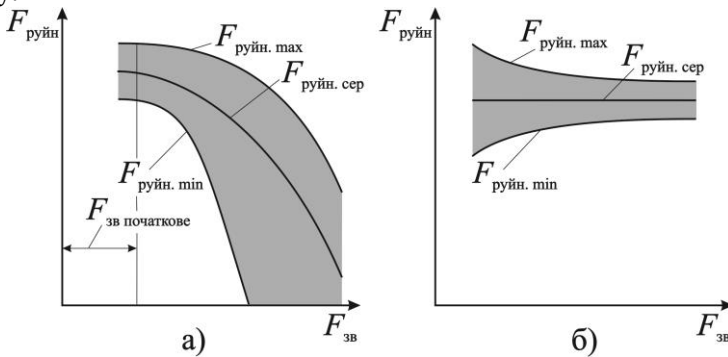
Рисунок 2.7 – Формування точки при зварюванні деталей

Вплив зусилля зварювання $F_{зв}$ на характер формування ядра неоднозначне. Зі збільшенням $F_{зв}$ від деякого оптимального значення при незмінних $I_{зв}$ та $t_{зв}$ відбувається збільшення пластичної деформації, площі контактів та зниження щільності струму, що приводить до зменшення розмірів та міцності зварних точок $F_{руйн}$ при одночасному зниженні їх стабільності (рис 2.8, а). В цьому випадку зі збільшенням $F_{зв}$ зменшується середнє значення навантаження руйнування зварної точки $F_{руйн.сер.}$ та $F_{руйн.min}$ стане набагато менше

$F_{\text{руйн.мах}}$. Одначе, якщо збільшення $F_{\text{зв}}$ супроводжується таким збільшенням $I_{\text{зв}}$ або $t_{\text{зв}}$ що середні розміри точок залишаються без змін, то зі збільшенням $F_{\text{зв}}$ міцність точок залишається більш стабільною (рис. 2.8, б). Це пояснюється тим, що майже завжди частина зусилля $F_{\text{зв}}$ витрачається на попереднє деформування нещільно зібраних деталей для утворення між ними контакту. Чим більше $F_{\text{зв}}$, тим непостійне за величиною зусилля, необхідне для деформування деталей, менш позначається на зусиллі, що розвивається в контакт, тим стабільніші умови зварювання.

При зменшенні $F_{\text{зв}}$, в порівнянні з оптимальним значенням росте контактний опір між деталями, збільшується виділення теплоти та знижується тепловідвід до електродів, що призводить до росту ядра та його виходу за межі зони ущільнюючого паса, внаслідок чого відбувається виплеск розплавленого металу.

В режимах різної жорсткості контактне зварювання повинно здійснюватись при різних зусиллях $F_{\text{зв}}$ на електродах. Так, в зв'язку з тим, що при зварюванні на жорстких режимах метал біляшовної зони нагріто менше, через негативний вплив великих швидкостей нагріву та охолодження, ніж при зварюванні на м'яких режимах, що може призвести до утворення виплеску розплавленого металу. Для створення надійного пластичного паса навкруги розплавленого металу в першому випадку необхідні більші зварювальні зусилля $F_{\text{зв}}$, ніж в другому, для конкретного поєднання товщини деталей та марки металу.



а – зміна тільки зусилля електродів; б – зміна зусилля стискування електродів, що супроводжується одночасною зміною зварювального струму або часу його протікання

Рисунок 2.8 – Залежність зусилля руйнування при випробовуванні на зріз від зусилля стискування електродів при зварюванні $F_{\text{зв}}$

Вплив форми та розміру робочої поверхні електроду (d_e або R_e) на формування ядра пов'язано зі зміною щільності струму. Електроди зі сферичною робочою поверхнею забезпечують більш інтенсивний нагрів при відносно низьких зварювальних струмах та кращий тепловідвід, менш чутливі до перекосів осей електродів при їх встановленні та мають більшу стійкість ніж електроди з пласкою робочою поверхнею. Зі збільшенням робочої поверхні плаского електроду d_e знижується щільність струму в контакті між деталями, що знижує питоме виділення теплоти та діаметр ядра $d_{я}$. При цьому зменшення розмірів литої зони в більшій мірі відбувається при зварюванні більш пластичного металу, ніж при зварюванні високоміцного металу (рис. 2.9).

При зварюванні електродомі зі сферичною робочою поверхнею зміна $F_{зв}$ в більшій мірі впливає на розміри литої зони, ніж при використанні електродів з пласкою поверхнею, особливо при зварюванні пластичних металів. Однак, при зменшенні $I_{зв}$ та $t_{зв}$ значення діаметра ядра та проплавлення знижуються менше при зварюванні електродомі зі сферичною поверхнею, ніж при зварюванні електродомі з пласкою поверхнею. Також на зменшення росту висоти ядра впливає зниження теплопровідності електродних матеріалів.

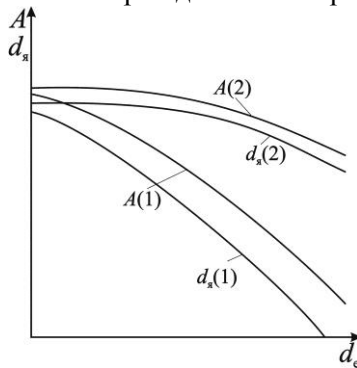


Рисунок 2.9 – Залежність розмірів литого ядра ($d_{я}$) та проплавлення (A) від діаметра робочої поверхні електродів при зварюванні пластичної (1) та високоміцної (2) сталей

Окрім вказаних параметрів на формування литої зони та її міцність впливає величина шагу. Наявність розташованих близько до зони з'єднання електричних контактів, наприклад при двосторонньому зварюванні раніш зварених точок, може призвести до

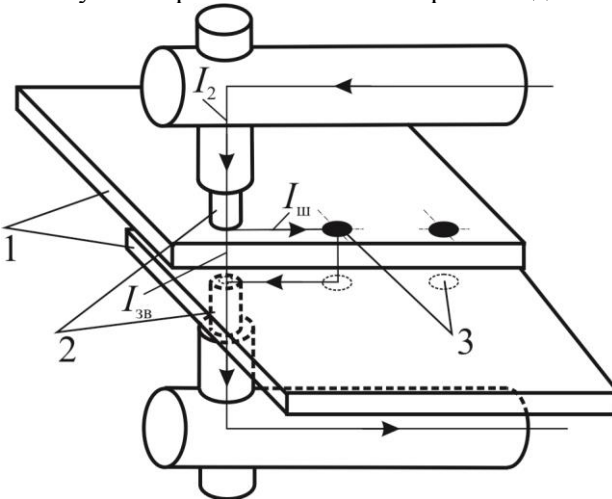
того, що частина струму буде проходити (шунтуватись) через ці контакти.

Шунтування проявляється в зниженні щільності струму в зоні, що обернена до контакту шунтування (рис. 2.10). Це призводить до зменшення тепловиділення в зоні зварювання та розмірів ядра.

Значення шунтування збільшується при зменшенні відстані (шага) між точками. Зокрема, знижується сила струму, що проходить через зону зварювання $I_{зв}$, зменшується діаметр ядра $d_{я}$ та падає міцність точки, тому оптимальне значення шагу в залежності від товщини металу обмежено.

У відповідності до характеру розподілу щільності струму при малій відстані між точками, малому діаметру ядра попередньої точки, переріз ядра в плані відрізняється по формі від кола - ширина ядра помітно більше його довжини. Крім того, ядро видовжено в сторону зварювання (від попередньої точки). Зі збільшенням товщини деталей та зменшенням питомого опору металу роль шунтування зростає.

Таким чином, не дивлячись на різноманіття зварювальних режимів, всі вони повинні виконуватись з урахуванням ряду вимог, що забезпечують отримання якісних зварних з'єднань.



1 – зварювані деталі; 2 – електроди; 3 – зварні точки; I_2 – струм у вторинному контурі; $I_{зв}$ – зварювальний струм; $I_{ш}$ – струм шунтування

Рисунок 2.10 – Розподіл струмів шунтування в багатоточковому з'єднанні

2.3 Дефекти зварних з'єднань та причини їх утворення

Основними видами дефектів точкового контактного зварювання є: непровар, вихід литої зони на поверхню деталей, зовнішній та внутрішній виплески, надмірні вм'ятини від електродів, несприятливі зміни структури металу, дефекти порушення щільності металу. Головною причиною виникнення цих дефектів являється недотримання оптимальних параметрів режиму зварювання.

Непровар – відсутність литої зони, або її малі розміри. Загальною причиною непровара являється порушення співвідношення між кількістю тепла що вводиться в зону зварювання та кількістю тепла яке необхідне для формування зварного з'єднання. Крім дотримання цього співвідношення необхідно також забезпечити певний закон введення тепла в зону зварювання за час протікання зварювального струму. Зниження тепловиділення відбувається внаслідок зменшення зварювального струму $I_{зв}$ та $t_{зв}$, збільшення зварювального зусилля $F_{зв}$ та робочої поверхні електродів.

Розміри литої зони також зменшуються внаслідок шунтування струму в сусідні точки через малий шаг зварних точок.

Вихід литої зони на поверхню деталей відбувається через використання надмірно форсованих режимів зварювання. Інші причини: зменшення $F_{зв}$ та забруднена поверхня деталей та електродів. Наслідком дефекту є зменшення корозійної стійкості з'єднань.

Надмірні вм'ятини від електродів можуть утворюватись при використанні електродів з пласкою робочою поверхнею для зварювання легких, мідних та титанових сплавів. Внаслідок великої вм'ятини відбувається пластичне видавлювання металу навколо литої зони в зазор між деталями. Іншою причиною видавлювання металу є невірне встановлення зварюваного вузла по відношенню до електродів машини, перекис або поперечний зсув електродів.

Внутрішній виплеск виникає при прориві пластичного паска що оточує рідкий метал ядра, або при місцевому інтенсивному розплавленні металу в контакті деталь-деталь, при якому пластичний ущільнюючий пасок ще не встиг сформуватися. Основною причиною внутрішнього виплеску вважаються надмірно високі швидкості нагріву металу та великі розміри зони розплавлення.

Розрізняють *початковий внутрішній виплеск*, виникаючий коли об'єм розплавленого металу незначний та *кінцевий внутрішній виплеск*, при якому об'єм зони розплавлення досяг значних розмірів.

Початкові виплески пояснюються перегрівом окремих ділянок (локальних контактів) відносно малої площі внаслідок незадовільної підготовки поверхні металу, або через перекіс електродів. При зварюванні металів з малим опором деформації виплески не характерні. Вірогідність їх появи збільшується при використанні жорстких режимів зварювання та невеликих зусиль. Утворення кінцевого внутрішнього виплеску пов'язано з розкриттям зазору, що обумовлене розширенням металу, втратою герметичності з'єднання та викидом рідкого металу під високим тиском.

Зовнішній виплеск представляє собою викид металу в контакт електрод-деталь. Основною причиною виплеску слід вважати інтенсивне тепловиділення в контакт, що виникає при поганій підготовці поверхні (високий опір контакту), забруднень робочої поверхні електродів, а також при недостатньому $F_{зв}$. Виплеск також може утворюватись через місцеве підвищення тепловиділення в контакт електрод-деталь, яке виникає при невірному положенні деталей по відношенню до електродів та непаралельності плоских робочих поверхонь електродів.

Місцеве розплавлення металу на периферії контакту електрод-деталь може відбуватись через різко нерівномірну щільність зварювального струму $j_{зв}$ по перерізу контакту, котра виникає, наприклад, при зварюванні деталей з відносно невеликою або нерівною товщиною електродами з великою робочою поверхнею.

Несприятливі зміни структури металу спостерігаються при використанні відносно жорстких режимів для зварювання деталей з вуглецевих, низьколегованих та деяких хромистих сталей що призводить до утворення в литій та біляшовних зонах структури гартування, яка має високу твердість та низьку пластичність. Аналогічне явище спостерігається, якщо при зварюванні з термічною обробкою в електродах машини величину та тривалість струму, що виконує відпуск зони зварювання невірно обрано та не забезпечується покращення механічних властивостей з'єднання.

Дефекти порушення щільності металу як правило пов'язані з усадкою розплавленого металу при його кристалізації та охолодженні. Кристалізація розплавленого металу відбувається в

жорсткій, зачиненій зі всіх сторін форми, зі стінками якої зрощується в процесі охолодження рідкий метал. Якщо деформація стінок цієї форми недостатня для компенсації об'ємних змін, що виникають при твердінні, то після кристалізації металу ядра утворюються усадкові порожнечі у вигляді пор та раковин.

2.4 Вибір та встановлення на машині режимів контактного точкового зварювання

Оптимальні параметри режиму контактного точкового зварювання визначають розрахунковим методом, експериментальним шляхом або за довідковими даними. В даній роботі параметри режиму обираються за довідковими даними в залежності від типу зварюваного матеріалу та його товщини. За довідником визначаються технологічні параметри режиму зварювання $I_{зв}$, $t_{зв}$, $F_{зв}$, d_e . Конструктивні елементи зварного з'єднання ($d_{я}$, мінімальний шаг між точками, величина напустки) визначаються за ГОСТ 15878-79 «Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры». Після вибору параметри режиму встановлюються на машині.

Наладку контактних машин та встановлення необхідних режимів зварювання виконують при вимкненому струмі в наступній послідовності.

Відчиняють вентилі стиснутого повітря та охолоджувальної води.

Установлюють потрібні розміри вильоту і розхилу, а також домагаються співвісності електродів. Площа, що охоплюється контуром зварювальної машини повинна бути мінімальною, але достатньою та зручною для зварювання деталей.

Потім перевіряють цілісність заземлення на регуляторі. Після цього вмикають автоматичний вимикач машини. Тумблер «Струм» встановлюють в положення «Вимкнено». Тумблер роду роботи встановлюють в положення «Одиночне зварювання». Після цього встановлюються потрібні тривалості кожної позиції циклу зварювання. При цьому необхідно враховувати, що величина позиції «Стиснення» має бути достатньою для опускання та стиснення деталей електродами, а також для наростання тиску повітря у приводі до потрібного рівня. Не дозволяється встановлювати тривалість жодної позиції у положення «0».

Для встановлення зусилля стискання необхідно вибрати необхідну величину тиску стисненого повітря. Зусилля стискання електродів в залежності від тиску повітря повинно бути наведено в таблиці, що прикріплена до корпусу машини або в її паспорті. У разі відсутності таблиці, необхідне зусилля стискання можна визначити за допомогою динамометра що міститься під час вимірювань безпосередньо між електродами машини. Встановлення необхідного тиску стисненого повітря виконується редуктором за показами манометру.

Силу зварювального струму можна встановити приблизно тому, що контактні машини не містять вимірювачів струму. Вибір робочого ступеню зварювального трансформатора, котрий забезпечить отримання зварювального струму потрібної сили виконується за допомогою навантажувальної характеристики $I_{зв} = f(r_{ee})$ для конкретного розхилу машини яка наведена в її паспорті. Робочий ступінь, наприклад, при зварюванні деталей зі сталі 08кп завтовшки 1,0+1,0 мм в режимі середньої жорсткості є третім. Опір металу в цьому випадку дорівнює 115 мкОм (табл. 2.1), а струм зварювання – 9,5 кА.

Робочу ступень зварювального трансформатора також можна визначити за наступною методикою.

За умови, що на всіх ступенях зварювального трансформатора опір вторинного контуру з деталями буде постійний, сила зварювального струму буде пропорційна напрузі ступеню U_{20} .

Таблиця 2.1 – Орієнтовний загальний опір деталей з деяких сталей та сплавів у кінці процесу точкового зварювання

Сталі та сплави	Опір, мкОм, для деталей завтовшки, мм					
	0,3+0,3	0,5+0,5	1,0+1,0	1,5+1,5	2,0+2,0	3,0+3,0
Д16АТ	18	16	13	11	10	8
Л62	76	48	30	24	20	18
08кп	150	135	115	100	90	75
30ХГСА	115	145	125	110	100	90
X15H5Д2Т	145	165	135	120	110	100
12Х18Н10Т	215	185	150	130	120	110
ОТ4-1	240	210	165	145	133	120

Номінальною ступеню машини є передостання ступень. Номінальне значення струму вказано в паспорті машини або в її опису. Напряга номінальної ступені визначається за коефіцієнтом трансформації даного ступеню та напруги мережі. Спочатку, знаючи

$(I_{3В})_{\text{ном}}$, $I_{3В}$, $(U_{20})_{\text{ном.ступ}}$, знаходять необхідну напругу проміжного ступеню $((U_{20})_{\text{проміж.ступ}})$.

Потім для знайденої напруги ступені знаходять коефіцієнт трансформації та встановлюють на машині ступень з ближчим в порівнянні зі знайденим коефіцієнтом. При цьому, на обраній ступені значення сили струму буде перевищувати значення обране за довідником. Далі знаходять силу зварювального струму для обраної ступені, знаючи $(I_{3В})_{\text{ном}}$, $(U_{20})_{\text{ном.ступ}}$, $(U_{20})_{\text{проміж.ступ}}$. Отриману силу струму зменшують плавним обертанням ручки регулятора циклу зварювання до необхідного значення.

Якщо при встановлених $t_{3В}$ та $F_{3В}$ не вдається отримати литу зону необхідних розмірів через виплески металу, то спочатку збільшують $F_{3В}$, а потім підвищують $I_{3В}$. Для отримання стійкого режиму без небезпеки виплеску максимальний діаметр литого ядра $d_{\text{м}}$, при якому починаються виплески, повинен бути в середньому на 15% більше необхідного номінального діаметру $d_{\text{н}} = 1,15d$ (див. ГОСТ 15878-79).

Це виконують наступним чином. При $t_{3В} = \text{const}$ для даного металу при різних $F_{3В1} \rightarrow F_{3В5}$ (рис. 2.11) отримують різні $d_{\text{м}}$ що збільшуються (лінія II-II – границя виплеску). Одночасно з підвищенням $F_{3В}$ збільшується діаметр зони $d_{\text{мін}}$, при якій починається розплавлення металу (лінія I-I – границя утворення зони розплавлення). Головна задача складається у виборі $d_{\text{н}}$ таким чином, щоб нормальні збурення процесу (зміни основних параметрів) забезпечували завжди отримання діаметру литої зони не менш d (згідно ГОСТ 15878-79). Для цього $d_{\text{н}}$ повинен мати запас $d_{\text{макс.з}}$, при дії збурень, що викликають виплеск (зменшення $F_{3В}$, збільшення $I_{3В}$). Таким чином, $d_{\text{н}} \leq d_{\text{макс.з}}$ та $> d_{\text{мін.з}}$. З практики визначено $d_{\text{макс.з}} = 1,3d$ або $1,15d_{\text{н}}$, а $d_{\text{мін.з}} = 0,85d$. Вказаним умовам відповідають режими з $F_{3В3}$, $I_{3В3}$ та $F_{3В4}$, $I_{3В4}$. Режими $F_{3В1}$, $I_{3В1}$ задовольняють умові $d_{\text{н}} \geq d_{\text{мін.з}}$, але не задовольняють вимозі $d_{\text{н}} \leq d_{\text{макс.з}}$; режими $F_{3В5}$, $I_{3В5}$ задовольняють умові $d_{\text{н}} \leq d_{\text{макс.з}}$, але не задовольняють вимозі $d_{\text{н}} \leq d_{\text{мін.з}}$. Таким чином $d_{\text{н}}$ забезпечується на режимах 3 та 4. Розміри литої зони можна контролювати по технологічній пробі та макрошліфам. Якщо діаметр ядра відповідає регламентованому, то параметри режиму зварювання вважають оптимальними.

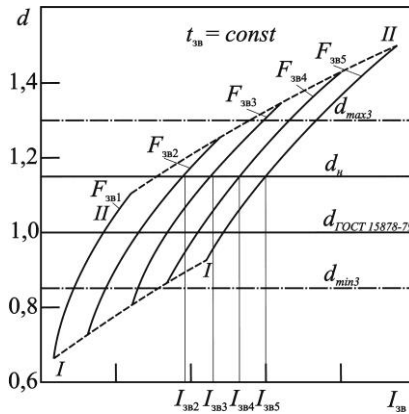


Рисунок 2.11 – Вибір номінального діаметру d_n ядра та оптимального режиму зварювання

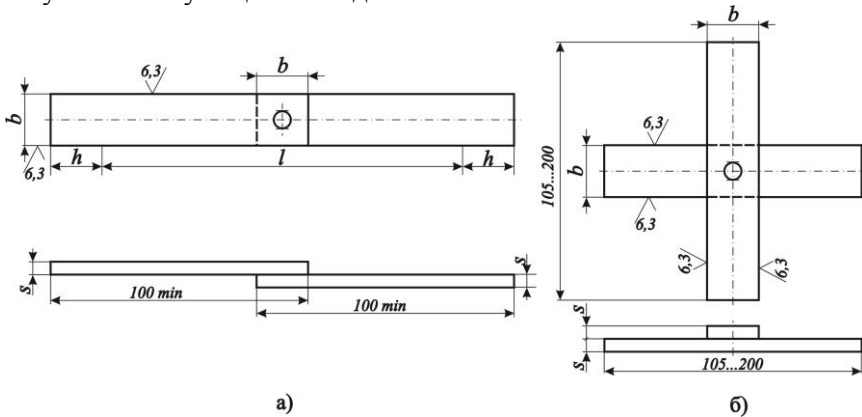
2.5 Визначення міцності зварних з'єднань виконаних точковим контактним зварюванням

Одним з основних показників якості точкових з'єднань виконаних електричним контактним зварюванням є їх висока та стабільна міцність. Міцність з'єднань визначають випробовуванням контрольних зразків на зріз, або на відрив (див. ГОСТ 6996-66). Матеріал та товщина зразків призначених для механічних випробовувань зварних з'єднань повинні бути ідентичні зварюваним деталям. Форма зразків для випробовувань точкових з'єднань на зріз та відрив наведена на рис. 2.12; розміри зразків вказані в табл. 2.2.

При випробовуваннях визначають навантаження руйнування на точку у ньютонках. Для запобігання вигину та забезпечення можливості випробування, зразки для випробувань на відрив закріплюють у спеціальному оснащенні, яке повинно забезпечувати їх жорсткість.

При випробовуваннях контрольних зразків на зріз (рис. 2.12, а) наявність напруги обумовлює ексцентричне прикладення навантаження, в результаті відбувається згин зразка і на зварну точку окрім зусилля зрізу діє зусилля відриву. Величина згину та, відповідно, і зусилля відриву залежить від жорсткості зразка в місці з'єднання. Так, із збільшенням ширини зразка при незмінних розмірах литої зони зусилля відриву зменшується і практично можливий чистий зріз. Однак, при вказаних вище формі та розмірах зразків

повна відсутність згину в результаті випробовування на зріз зазвичай вказує на низьку міцність з'єднання.



s – товщина основного металу, мм; h – довжина захватної частини (обирається в залежності від конструкції випробувальної машини), мм; l – довжина робочої частини зразка, мм

Рисунок 2.12 - Зразки для механічних випробовувань точкових з'єднань на зріз (а) та відрив (б)

Таблиця 2.2. - Розміри зварних точкових зразків для механічних випробовувань на зріз

Товщина основного металу s , мм	Ширина зразка b (див. рис. 2.11), мм
До 1 включно	20
Більше 1 до 2 включно	25
Більше 2 до 3 включно	30
Більше 3 до 4 включно	35
Більше 4 до 5 включно	40
Більше 5	45

При випробовуваннях на зріз зварні точки руйнуються як зі зрізом литого металу, так і з вирином ядра (наскрізним або ненаскрізним) з основного металу. З наскрізним вирином зазвичай руйнуються зварні точки більш пластичних металів. Точки металів, що мають високу міцність, руйнуються зі зрізом. Однак чіткого розмежування за характером руйнування однократних зразків немає і в залежності від розмірів литої зони, ширини зразка та напруги, а також загальної жорсткості з'єднання, можуть бути зріз або відрив точок. Якщо зразки точкових з'єднань руйнуються зі зрізом, то у зламі можна заміряти діаметр литого ядра, а також виявити внутрішні дефекти: тріщини, пори та виплески. Руйнування однократних

зразків по основному металу свідчить про недостатню ширину зразка та не дозволяє судити про міцність зварної точки.

Міцність зварних з'єднань визначається розмірами литої зони та властивостями литого металу й біляшовної зони. Найбільший вплив на міцність точкових з'єднань має діаметр литого ядра в площині з'єднання. Міцність точок на зріз зростає приблизно пропорційно площині литої зони.

Для більшості металів режим зварювання (жорсткий або м'який) за умови однакових розмірів литої зони істотно не впливає на міцність з'єднань. Виключення складають метали, що мають високу чутливість до термічного циклу зварювання, наслідком якого є гартівні структури. Міцність цих металів значно залежить від режиму зварювання та наступної термічної обробки.

Дослідження зварних точок на відрив виконують на хрестоподібних зразках (див. рис. 2.12, б). При випробовуванні на відрив руйнування у більшості випадків відбувається з наскрізним вирином металу по біляшовній зоні; рідше зустрічається ненаскрізний вирив, наприклад у зразків значної товщини (більш 4 мм), та з невеликим проплавленням (15...30%). Однак, характер руйнування з'єднань практично не впливає на величину зусилля відриву (міцність) зварних точок.

В табл. 2.3 та 2.4 наведені середні зусилля руйнування зварних точок на зріз та відрив для з'єднань різних металів.

Таблиця 2.3 – Середні зусилля руйнування зварних точок на зріз, даН

Товщина тонкої деталі	Середній діаметр ядра, мм	X18H9T, ЭИ703	ЮТ4, ВТ5	ЭИ654, СН2	ЭИ602, ЭИ435	ЭИ 696 А, ЭИ437Б	30ХГСА відпалена	Д162 м'яка	АМц	Д16АТ, АМг6	МА2-1	08кп
0,3	3,0	140	158	163	175	180	150	65	27	43	33	118
0,5	3,5	240	275	282	310	330	275	145	60	91	70	200
0,8	4,0	485	545	565	625	640	540	280	130	176	115	405
1,0	4,5	700	770	795	875	895	730	395	170	265	160	580
1,5	6,5	1380	1585	1680	1810	1865	1480	775	270	463	320	1167
2,0	7,7	1930	2300	2370	2530	2590	2210	1170	425	695	415	1625
3,0	9,7	3050	3450	3525	3610	3695	2950	1730	680	1195	770	2550

Таблиця 2.4 – Середні зусилля руйнування зварних точок на відрив, даН

Товщина тонкої деталі	Середній діаметр ядра, мм	X18H9T	OT4	AMг3	Д16АТ	В95АТ	МА2
0,3	3,0	125	38	-	11	-	-
0,5	3,5	190	60	18	23	20	-
0,8	4,0	385	135	35	176	45	25
1,0	4,5	575	200	48	265	60	40
1,2	5,5	785	290	80	463	100	75
1,5	6,5	1150	475	100	695	140	100
2,0	7,5	1660	765	170	1195	230	200
3,0	9,5	2550	1210	450		485	355
4,0	13,0	3340	-	-		770	-
5,0	15,0	-	-	-		1140	-
6,0	17,0	-	-	-		1770	-

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Перед тим, як приступати до виконання лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити дані методичні вказівки, або за допомогою рекомендованої літератури самостійно ознайомитися з впливом параметрів точкового контактного зварювання на характер формування та якість зварних з'єднань, методикою їх контролю [1 (с. 109...124); 2 (с. 102...107); 3 (с. 31...35); 4 (с. 42...45, 73...76)]; вивчити інструкцію по техніці безпеки; відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

4.1 Поясніть сутність контактного точкового зварювання.

4.2 Назвіть основні параметри режиму точкового зварювання.

4.3 За допомогою формули Джоуля-Ленца та її графічного зображення, поясніть, що представляють собою жорсткий та м'який режими контактного точкового зварювання.

4.4 Які дефекти можуть утворитись в зварному з'єднанні внаслідок невірної вибору наступних параметрів контактного точкового зварювання: $F_{ЗВ}$, $t_{ЗВ}$, $I_{ЗВ}$, $d_{ел}$?

4.5 Як на машині контактного зварювання обираються та встановлюються необхідні параметри?

4.6 Поясніть характер зміни залежності $F_{руйн} = f_1(t_{зв})$ та $F_{руйн} = f_2(I_{зв})$.

4.7 Як параметри точкового контактного зварювання впливають на якість зварного з'єднання?

4.8 Поясніть ефект шунтування струму, як він впливає на якість зварного з'єднання?

4.9 Поясніть, чому зусилля руйнування зварних точкових з'єднань на зріз в 1,5...2 рази більше ніж на відрив?

5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ

Машина для електричного контактного точкового зварювання МТ-1816, паспорт машини або її опис.

Зразки для зварювання (матеріал зразків – низьковуглецева сталь, товщина зразків за вказівкою викладача).

Набір слюсарного та вимірювального інструментів (динамометр, штангенциркуль, молоток, зубило).

Машина для механічних випробувань зразків.

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Студенти, що виконують роботу на машині МТ-1816 повинні пройти інструктаж з техніки безпеки при роботі електроустановками до 1000 В.

При зачищенні та зміні електродів, чищенні та протиранні машини та виконанні ремонтів на машині МТ-1816 необхідно повністю відключати напругу, подачу повітря та води.

Для захисту від бризок та виплесків металу при зварюванні зварник повинен працювати в спеціальних прозорих окулярах, або за прозорими щитами та мати відповідний спецодяг.

Перебуваючи біля рухомих частин машини МТ-1816 при подачі повітря та електричного живлення необхідно дотримуватися мір обережності (можливе спрацювання пневматичного приводу машини при несправних регуляторі або елементах пневматичного пристрою).

Зміну коефіцієнту трансформації необхідно здійснювати тільки після відключення машини від мережі автоматичним вимикачем. Рукоятку автомата необхідно перевести в положення «Вимкнено».

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Лабораторну роботу слід виконувати в наступній послідовності:

1. Обрати за довідником параметри режиму контактного точкового зварювання згідно заданого матеріалу та товщини зразків.

2. Вивчити за паспортом, або її описом технічні характеристики, особливості будови, принцип дії машини контактного точкового зварювання на якій виконується робота.

3. За обраними значеннями зварювального струму $I_{зв}$ та загального опору $r_{еє}$ зварюваних деталей (табл. 2.1) визначити ступінь регулювання вторинної напруги зварювального трансформатора машини контактного зварювання. Для визначення необхідної ступені слід використовувати навантажувальні характеристики зварювальної машини $I_{зв} = f(r_{еє})$ для конкретного розхилу, які наводяться в її паспорті або опису.

4. Настроїти на контактній машині обрані параметри режиму зварювання.

5. Виконати зварювання першої групи зразків на обраних параметрах зварювання.

6. Виконати зварювання другої та третьої групи зразків попередньо відповідно зменшив та збільшив час зварювання від обраного за довідником та випробувати їх на зріз.

7. Виконати зварювання другої та третьої групи зразків попередньо відповідно зменшив та збільшив струм зварювання від обраного за довідником та випробувати їх на зріз.

8. Провести дослідження якості отриманих точкових з'єднань всіх груп зразків та порівняти діаметри зварених точок зразків з їх значенням регламентованим ГОСТ 15878-79.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт по виконаній роботі повинен містити наступні відомості:

- мета роботи;

- короткі відомості щодо: впливу основних параметрів контактного точкового зварювання на формування та якості зварного з'єднання, дефектів та причин їх утворення, визначення міцності зварних з'єднань;
- характеристики матеріалів, розміри зразків та обрані параметри режиму зварювання;
- графік визначення робочого ступеню зварювального трансформатора машини МТ-1816;
- ескізи зразків з наведенням схеми їх випробовування;
- таблиці з результатами проведених експериментів;
- графіки залежностей $F_{руйн} = f_1(t_{зв})$, $F_{руйн} = f_2(I_{зв})$;
- висновки по роботі (оцінка якості отриманих зварних з'єднань та пояснення причин їх відмінності; пояснення отриманих результатів досліджень міцності зварних з'єднань та порівняльний аналіз відповідності отриманої міцності зварних з'єднань з даними наведеними в табл. 2.3).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чуларис А.А., Рогозин Д.В. Технология сварки давлением. – Ростов н/Д: Феникс, 2006, 221 с.
2. Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б.Д. Орлова – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
3. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Академия, 2009. – 224 с.
4. Контроль точечной и роликовой электросварки / Б.Д. Орлов, П.Л. Чулошников, В.Б. Верденский, А.Л. Марченко. – М.: машиностроение, 1973. – 304 с.
5. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1974 – 232 с.
6. ГОСТ 15878-79. Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1980-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 9 с.
7. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.– Введ. 1967-01-01. – М.: «Стандартинформ», 2005. – 44 с.