

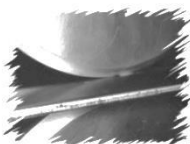
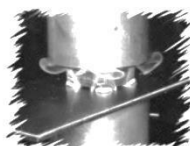
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА РЕЖИМІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ НА ЯКІСТЬ З'ЄДНАНЬ

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 № 4
«Дослідження впливу технологічних особливостей та режимів
стикового зварювання опором на якість з'єднань» 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., Капустян О.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 14 с.

Укладач: Р.А. Куликовський, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старший викладач

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний
за випуск: О.Є. Капустян, старший викладач

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 8
від 26.05.2016 р.

Рекомендовано до видання
НМК Інженерно-фізичного
факультету
Протокол № _____
від «____» _____ 2016 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
2.1 Сутність та схема стикового зварювання опором.....	4
2.2 Вплив технологічних особливостей та основних параметрів режиму на формування з'єднань при стиковому зварюванні опором.....	6
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	12
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	12
5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ	13
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	13
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	13
8 ЗМІСТ ЗВІТУ.....	14
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	14

1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження впливу технологічних параметрів та режимів на формування з'єднань при стиковому зварюванні опором.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Сутність та схема стикового зварювання опором

Стикове зварювання опором (*en. – resistance butt welding*) – це зварювання тиском стикових з'єднань, під час якого попередньо стиснуті поверхні заготовок нагріваються теплом, що виділяється електричним струмом на контактному опорі стику.

При стиковому зварюванні опором зварювані заготовки 1 (рис. 2.1) попередньо встановлюють з початковою довжиною l_0 у губки-електроди 2 зварювальної машини, що підводять струм та притискають їх зусиллям $F_{пр}$. Один із затискачів є рухливим та з'єднаний з приводом зусилля осьового стискання машини 3. Далі заготовки стискають осьовим зусиллям $F_{зв}$ та вмикають у електричну мережу зварювальний трансформатор 4. Поки стиснуті торці заготовок не розігріті, вони стикаються лише по окремим невеликим ділянкам, що утворились внаслідок деформації виступаючих частин мікрорельєфу їх поверхонь. Контактний опір між холодними деталями на початку зварювання є значним та оказує вирішальний вплив на рівномірність нагріву заготовок по довжині. Під час проходження по заготовкам зварювального струму $I_{зв}$ відбувається поступовий їх нагрів до температури T_1 по всій довжині та додаткове виділення тепла T_2 в зварюваному стиковому з'єднанні заготовок (рис. 2.2). Додатковий нагрів, викликаний контактним опором, відбувається у вузькій приконтактній зоні за малий проміжок часу та спричиняє швидке підвищення в ній температури. Незважаючи на те, що в загальному тепловому балансі кількість теплоти, що виділяється на контактному опорі, не перевищує 10...15 %, а з підвищенням температури цей опір взагалі зменшується до нуля, у вузькій приконтактній зоні, як і раніше, температура підвищується швидше, ніж в інших зонах.

Метал зони зварювання нагрівається до температури $T_{зв}$, яка є нижчою ніж температура плавлення зварюваних металів $T_{пл}$, та

становиться пластичним. Після нагріву зварювальний струм вимикають та різко збільшують зусилля осадки зварюваних заготовок, які деформуються в стик. Металевий зв'язок між заготовками починає формуватися в ході пластичної деформації, під час якої руйнуються та витискуються із зони зварюваного контакту оксидні плівки, утворюються ювенільні поверхні, атоми металу зближуються на відстань взаємодії міжатомних сил. Нагрів сприяє підвищенню рухливості атомів. В процесі охолодження продовжуються дифузійні процеси, утворення загальних зерен, зміна структури та властивостей металу, релаксація внутрішніх напружень.

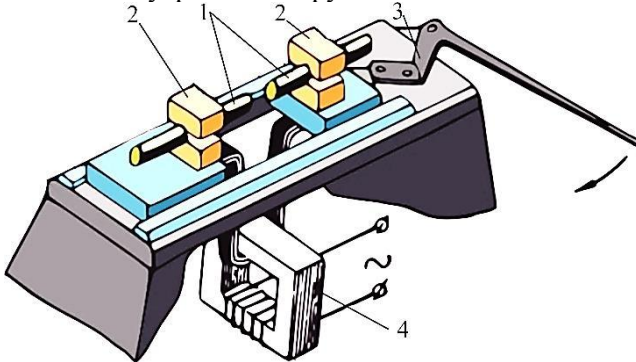


Рисунок 2.1 – Схема стикового зварювання опором

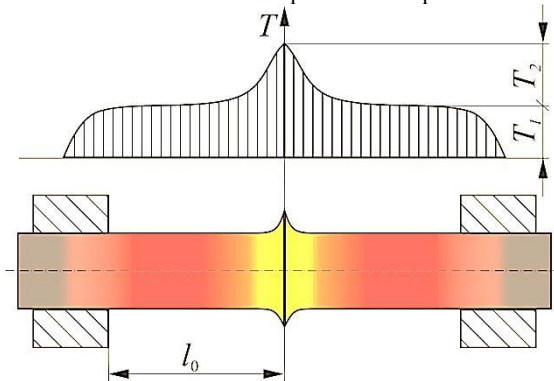


Рисунок 2.2 – Розподіл температури при зварюванні опором

Таким чином, зварне з'єднання при зварюванні опором утворюється в твердій фазі та відбувається протягом трьох стадій: активації контактних поверхонь, утворення фізичного контакту та об'ємної взаємодії зварюваних металів.

2.2 Вплив технологічних особливостей та основних параметрів режиму на формування з'єднань при стиковому зварюванні опором

Нагрів та деформація заготовок при стиковому зварюванні опором може відбуватися з окисненням та без окиснення металу торців. При окисненні для отримання з'єднань високої якості необхідно видалення окисних плівок із стику під час осадки. Окислення також зменшується шляхом підбору режимів зварювання, відповідною підготовкою торців деталей та застосуванням захисних середовищ або вакууму.

Необхідна форма з'єднання та його властивості забезпечуються механічною, термічною та термомеханічною обробкою, що проводиться під час зварювання або після нього.

Підготовка заготовок для зварювання складається з їх раціонального конструювання та обробки, що дозволяє створити умови для рівномірного нагріву та по можливості однакової пластичної деформації при осадці. Найбільш легко зварюють деталі однакового перерізу. Різниця в діаметрах не повинна перевищувати 15, а за товщиною 10 %. Форма деталей повинна забезпечити надійне закріплення їх у затискачах зварювальної машини та струмопідвід поблизу місця зварювання. Кільцевий виступ при зварюванні опором (рис. 2.3, а) локалізує нагрів та ізолює поверхню стику від повітря. У труб (рис. 2.3, в) та прутків конус (рис. 2.3, д), сфера (рис. 2.3, б) або конус з притупленням (рис. 2.3, є) локалізують нагрів та полегшують видалення окислів. Рівномірний підігрів деталей з перпендикулярними торцями (рис. 2.3, г) без їх ретельної підгонки та складання ускладнений. В іншому випадку стикування заготовок може відбутися на краю торців або окремих точках, що призведе до виплавлення металу у дотичних точках за відсутності повного контакту по всьому перерізу (рис. 2.4). Тому зазор між торцями не припустимий більше 0,5 мм.

Кінці труб та інших складних деталей, що зварюються опором, іноді калібрують.

Надійний електричний контакт губок-електродів машини з заготовками досягається шляхом їх зачистки. Погано виконана зачистка деталей та губок призводить до збільшення опору в контакті

між ними, втрат потужності машини та, як наслідок, зменшенню зварювального струму, що знижує якість з'єднань.

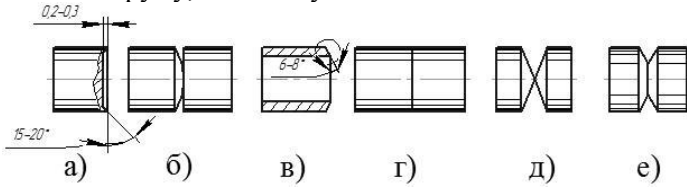


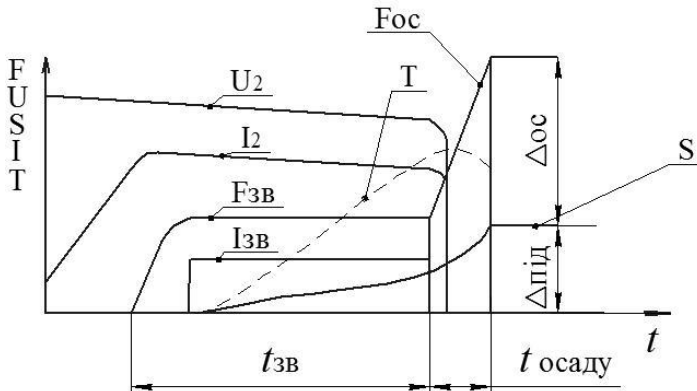
Рисунок 2.3 – Форма торців зварюваних заготовок при зварюванні опором



Рисунок 2.4 – Характер нагріву нерівно обрізаних заготовок при зварюванні опором

Процес стикового зварювання опором характеризується взаємопов'язаними основними параметрами режиму (рис. 2.5), захисним середовищем та обладнанням.

Режими стикового зварювання опором включають в себе: зварювальний струм $I_{зв}$ (густина струму $j_{зв}$); час нагріву $t_{зв}$; початкове (зварювальне) зусилля стискання $F_{зв}$; зусилля осадки $F_{ос}$; встановлювана довжина l_0 ; припуск на осадку $\Delta_{ос}$.



$I_{зв}$ – зварювальний струм; $t_{зв}$ – час нагріву; $F_{зв}$ – зусилля стискання; $F_{ос}$ – зусилля осадки; $\Delta_{ос}$ – припуск на осадку; S – переміщення рухомої плити машини

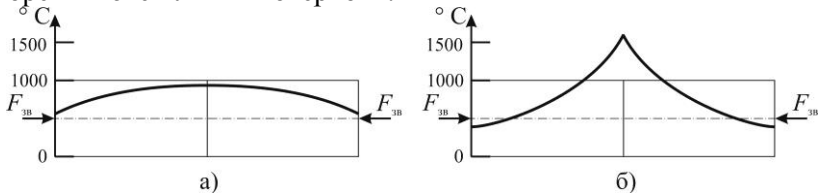
Рисунок 2.5 – Типова циклограма процесу стикового зварювання опором

Для отримання більш якісного зварного з'єднання намагаються досягнути в контакті якомога більшої температури. Наприклад, для сталей температура повинна бути близькою до

температури плавлення металу (не нижче 1250...1300 °С). Для кольорових металів температура в контакті повинна дорівнювати температурі в точці плавлення. Але для забезпечення високої якості зварювання не достатньо лише досягнення цієї температури в контакті. Необхідно отримати й сприятливе розповсюдження температури вздовж заготовок по обидві боки контакту, що дозволить виконати необхідне стискання розігрітих заготовок.

Процеси тепловиділення у контакті при стиковому зварюванні регулюються шляхом варіювання зварювального струму $I_{зв}$, часу нагріву $t_{зв}$ та зварювального зусилля $F_{зв}$.

При занадто великому зварювальному зусиллі $F_{зв}$ (рис. 2.6, а) нагрів в контакті майже непомітний. В цих умовах за короткий час нагріву $t_{зв}$ при високій температурі неможна отримати міцного з'єднання. Зменшення зварювального тиску й тим самим збільшення контактного опору створює в контакті більш концентрований нагрів (рис. 2.6, б), ніж у першому випадку. При цьому відбуваються процеси пластичної деформації, активуються процеси руйнування окислів та утворення ювенільних поверхонь.



а – надмірно великий зварювальний тиск, малий опір контакту; б – нормальний зварювальний тиск, правильний розігрів

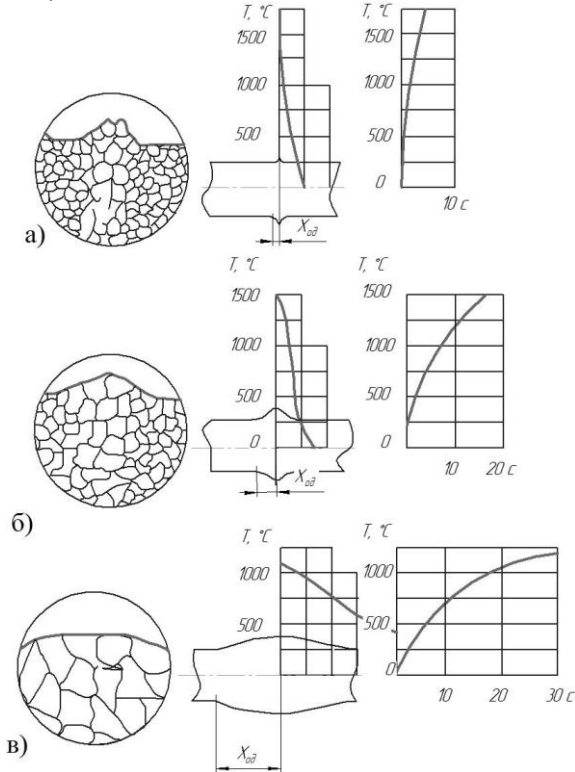
Рисунок 2.6 – Схема впливу тиску на процес тепловиділення коло контакту при стиковому зварюванні опором

Зменшення зварювального тиску до значення, при якому відбувається тільки стикання в окремих точках призведе до різкого збільшення контактного опору та інтенсифікує тепловиділення. При цьому підсиляться процеси окислення, а в точках стикання метал буде миттєво закипати та викидатись зі стику у виді невеликих розпечених бризок.

У випадку, якщо зварювальний струм буде занадто великим, то за короткий час температура в контакті може досягнути точки плавлення або навіть перевищити її (рис. 2.7, а - права частина). Концентрація температури вздовж зварюваних заготовок в цьому випадку виявиться настільки різкою відносно контакту (середня

частина рис. 2.7, а), що розігрітими до пластичного стану будуть лише поверхневі шари металу на торцях заготовок.

Якщо зварювальний струм обрано недостатнім, розігрів контакту буде відбуватись дуже повільно (рис. 2.7, в - права частина) й температурна крива вздовж заготовок буде пологою (рис. 2.7, в - середня частина).



а – надмірно висока сила зварювального струму; б – нормальна сила зварювального струму; в – занадто низька сила зварювального струму; x_{0d} – відстань від площини контакту до зони, де деформації практично відсутні (зона нульової деформації)

Рисунок 2.7 – Вплив різних режимів нагріву заготовок при стиковому зварюванні опором на зовнішню форму та структуру зварних з'єднань

В залежності від розподілу температури вздовж заготовок та зусилля стискання зовнішня форма зварних стиків має різноманітний вид. Наприклад, на рис. 2.7, в показано, що температура нагріву контакту була недостатня, але тиск великий. Тривала дія великого тиску викликала значну деформацію зварених кінців. Міцність

зварювання у цьому випадку недостатня. Місцями в стику можуть бути непровари.

Недостатньою буде міцність зварювання й для зразків, що показані на рис. 2.7, а. В цьому випадку внаслідок занадто крутого розподілу температур розігрівся тільки тонкий шар металу коло контакту. Тому при стисканні зовнішній вид стиків буде подібний зображеному на рис. 2.7, а.

Для сталевих заготовок найбільш правильним буде зовнішній вигляд зварних стиків, що показано на рис. 2.7, б. При цьому міцність зварних з'єднань є найбільш високою, з достатнім рівнем деформації стиків.

Найбільш якісне зварне з'єднання для сталевих заготовок отримується при значенні $x_{од} = 30...50$ % від діаметра (або товщини) зварюваних заготовок. Для кольорових металів та сплавів достатньою умовою для отримання якісного зварного з'єднання є досягнення в площині контакту температури, що дорівнює температурі точки плавлення (або дещо вище).

При малому часі нагріву $t_{зв}$ спостерігається нерівномірний нагрів зварюваних заготовок по перерізу та можливий непровар. Застосування підвищених значень $t_{зв}$ підсилює процеси окислення металу.

Співвідношення значень густини зварювального струму $j_{зв}$ (А/см²) та часу нагріву $t_{зв}$ (с) коливається у доволі високих межах. Оптимальне значення параметрів стикового зварювання опором визначається залежністю:

$$j_{зв} \cdot \sqrt{t_{зв}} = k \cdot 10^3, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від зварюваного металу (для сталей $k=8...10$; для міді $k=27$; для алюмінію з окисленими торцями $k=12...15$; для алюмінію зі свіжезачищеними торцями $k=20$).

За малою встановлювальною довжиною l_0 (рис. 2.2) спостерігається великий відвід теплоти в електроди. При надмірній встановлювальній довжині l_0 збільшується споживана потужність, хоча при цьому знижуються втрати теплоти в електроди. Можливе викривлення зварюваних заготовок та втрата їх стійкості.

Нагрів заготовок при стиковому зварюванні опором може контролюватися по тривалості проходження зварювального струму або по осаду деталей Δ_{oc} . При контролі по осаду зварювальний струм вимикається після певного укорочення деталей. Збільшення припуску на осад Δ_{oc} при постійному тиску може призвести до перегріву або розплавленню металу з появою великої кількості розплавленого металу, а зменшення – до появи непроварених ділянок з окислами. Зі збільшенням перерізу деталей оптимальне значення осаду збільшується, наприклад для низьковуглецевих сталей при перерізі $25 \dots 100 \text{ мм}^2$ осад становить $0,8 \dots 1 \text{ мм}$, при перерізі 250 мм^2 – $1,5 \dots 1,8 \text{ мм}$ та при перерізі $500 \dots 1000 \text{ мм}^2$ – $2 \dots 2,5 \text{ мм}$. При зварюванні сталей, що гартуються, ці значення збільшуються на $15 \dots 20 \%$. Значення осаду без струму приблизно таке саме.

Різномірні метали з метою рівномірного нагріву заготовок зварюють з різною встановлювальною довжиною. Деталі з металу з низькою теплопровідністю, які нагріваються сильніше, встановлюють з меншою довжиною, ніж деталі з металу з високою теплопровідністю.

Мінімальне значення l_0 при зварюванні стержнів дорівнює їх діаметру, а при зварюванні пластин $l_0 = (3 \dots 4)\delta$, де δ – товщина пластини, мм.

При зварюванні низьковуглецевих та низьколегованих сталей тиск при осадці $p_{oc} = 30 \dots 50 \text{ МПа}$, при зварюванні легованих сталей $p_{oc} = 100 \dots 150 \text{ МПа}$.

Густина струму $j_{зв}$ при зварюванні сталей складає $20 \dots 60 \text{ А/мм}^2$ (м'які режими) та $90 \dots 200 \text{ А/мм}^2$ (жорсткі режими). час нагріву $t_{зв} - 1 \dots 10 \text{ с}$ (м'які режими) та $0,6 \dots 1,5 \text{ с}$ (жорсткі режими).

Газовий захист при зварюванні опором застосовується при з'єднанні деталей перерізом понад 300 мм^2 та їх нагрівом до $(0,8 \dots 0,9)T_{пл}$.

Для захисту зварюваних поверхонь застосовують газівідновники (водень, вуглеводи, суміші водню з окисом вуглецю, азотом) або нейтральні гази (аргон, гелій та інш.). Останні повинні бути добре очищені від вологи та кисню. Технічні гази (N_2 , H_2 та інш.) без додаткового очищення зазвичай окислюють нагрітий метал майже так само інтенсивно, як і повітря.

Обладнання при зварюванні опором обирається в основному за потужністю зварювальних машин. В залежності від підготовки деталей та властивостей зварюваного металу їх питома потужність повинна обиратися в межах $0,3 \dots 2,0$ кВт/мм².

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Перед тим, як приступати до виконання лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити дані методичні вказівки, або ознайомитися з технологією стикового зварювання опором [1 (с. 125...128); 2 (с. 79...80); 3 (с. 170...172)], 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 стикового зварювання опором.

4.2 Яку роль відіграє контактний опір між деталями при стиковому зварюванні опором?

4.3 Які вимоги пред'являються до торців заготовок при стиковому зварюванні опором?

4.4 Назвіть основні параметри режиму стикового зварювання опором.

4.5 У якому стані утворюється зварне з'єднання при стиковому зварюванні опором?

4.6 Яка форма торців трубчастих та стрижневих заготовок при стиковому зварюванні опором є найбільш прийнятною?

4.7 Як впливає зміна зварювального тиску при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?

4.8 Як впливає зміна часу нагріву при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?

4.9 Як впливає зміна зварювального струму при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?

4.10 На що впливає встановлювальна довжина заготовок при стиковому зварюванні опором?

4.11 Які дефекти зварного з'єднання можуть утворюватись при стиковому зварюванні опором?

4.12 Як контролюється нагрів заготовок при стиковому зварюванні опором?

5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ

Машина для стикового зварювання опором.

Заготовки для зварювання (стержні або пластини з низьковуглецевої сталі).

Заточувальний верстат або напилек.

Розривна машина.

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Для попередження опіків зварювальник повинен одягти безкольорові окуляри закритого типу, рукавиці та бавовняний вогнетривкий або брезентовий фартух.

Зварювання опором здійснюється при низьких (до 36 В) напругах та при дотриманні правил електробезпеки. Ураження струмом високої напруги можливо лише при незаземленій машині та пробією трансформатора, при перемиканні напруги без відімкнення трансформатора від мережі.

Заміна струмопровідних губок машин та їх чищення при ввімкненому струмі не припустимі.

Під час роботи зварювальник приймає заходи по захисту себе та оточуючих від розігрітих ділянок; вимикає зварювальну машину при перерві в подачі енергії, відходу від машини, тимчасової перерви зварювання, несправності в машині, чищенні та прибиранні машини й робочого місця.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

7.1 Ознайомитись з сутністю стикового зварювання опором та його технологічними особливостями при формуванні з'єднань.

7.2 Ознайомитись з будовою та принципом роботи машини для стикового зварювання опором, отримати навички її експлуатації.

7.3 Виконати дослідні зварювання зразків з різною величиною осаду при нагріві Δ_{oc} та з різною якістю підготовки торців зварюваних заготовок (за вказівкою викладача).

7.4 Випробувати міцність досліджуваних зварних зразків на розривній машині.

7.5 Скласти звіт та проаналізувати зв'язок якості отриманих з'єднань з технологічними особливостями та режимами стикового зварювання опором.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт по виконаній роботі повинен містити наступні відомості:

- мета роботи;
- короткі відомості щодо фізичної сутності стикового зварювання опором та його технологічні особливості;
- схема механізму затиснення зразків в машині;
- циклограма процесу зварювання;
- ескізи отриманих зварних з'єднань з кольорами мінливості;
- значення величини осаду при нагріві та отриманої міцності відповідних зварних з'єднань;
- графічне зображення оптимальних значень зварюваного струму в залежності від часу нагріву заготовок в діапазоні від 0,1 до 5 с;
- висновки по роботі (пояснення характеру нагріву заготовок в процесі зварювання за кольорами мінливості; оцінка якості та міцності отриманих зварних з'єднань з поясненням причин відмінності їх руйнування; обґрунтування оптимального значення осаду при нагріві).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Березиенко В.П. Технология сварки давлением: Учеб. пособие / В.П. Березиенко, С.Ф. Мельников, С.М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.

2. Чуларис А.А. Технология сварки давлением / А.А. Чуларис, Д.В. Rogozin. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 221 с.

3. Кочергин К.А. Сварка давлением: Учеб. пособие / К.А. Кочергин. – Л.: Машиностроение, 1972. – 216 с.

4. Биковський О.Г. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання: Навч. посіб. / О.Г. Биковський, Д.М. Лутов, І.В. Пінковський - К.: Техніка, 2001. - 240 с.