

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1

«Дослідити технологічний процес холодного зварювання тиском.
Вивчити елементи конструкції машин зварювання»

з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання тиском»

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 «Дослідити технологічний процес холодного зварювання тиском. Вивчити елементи конструкції машин зварювання» з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання тиском» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укладачі: В.В. Нетребко, Т.Ю. Панфілов, О.В. Михайлов. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 р. – 16 с.

Укладач: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук
Т.Ю. Панфілова, аспірант
О.В. Михайлова, аспірант

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

Редактор: І.П. Аверченко, ст. лаб.

Відповідальний
за випуск: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №5 від 29.11.2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4
від 17.12.2024 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	13
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ	13
5 ВКАЗІВКИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ...	14
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ	14
7ЗМІСТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ	15
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	15
Перелік навчальної та довідкової літератури	15
Рекомендовані інформаційні джерела	16

1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження та аналіз впливу силового фактору за холодного зварювання на характер формування та якість зварного з'єднання, засвоєння навичок визначення та встановлення оптимальних параметрів режиму зварювання. Ознайомитись та вивчити елементи конструкції машин для холодного зварювання

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Зварювання тиском є одним з провідних технологічних процесів у багатьох галузях промисловості. Розвиток та поширення багатьох способів зварювання тиском відбувалися завдяки роботам українських вчених з Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України. Суть процесу зварювання тиском полягає в утворенні зв'язків між атомами з'єднуваних поверхонь без їх розплавлення за рахунок спільної пластичної деформації. Зварювання може виконуватися як без нагрівання, так і з підігрівом, що сприяє полегшенню пластичної деформації при меншому тиску та менших об'ємних деформаціях у зоні стикання.

Поверхня твердих металів і сплавів отримується різними способами обробки. Вона характеризується наступними факторами: геометричним (рельєфом), а саме: хвилястістю і шорсткістю та фізичним станом – наявністю різних забруднень (окисні плівки та забруднення). Ідеально чиста (ювенільна) поверхня металу утворюється у глибокому вакуумі ($10^{-6} \dots 10^{-7}$ Па). Нерівності поверхонь і наявні оксидні плівки перешкоджають утворенню міжатомних зв'язків при зварюванні тиском. На якість зварювання також впливають адсорбовані гази, особливо хемосорбований кисень та волога.

Існує умовна класифікація способів зварювання тиском за основними і додатковими факторами впливу. До основних належать тиск (p), температура (T) та час (t). До додаткових факторів належать:

захисне середовище (A), умови активації поверхні, інтенсифікації процесів тощо (f). Виділено групи способів, які віднесено до p -; p , T -; p , T , t -; p , T , t , A -; p , T , f - процесів. До p – процесів віднесено холодне зварювання. До p , T – процесів належить – пресове та КЗ – стикове контактне; ЗТ – тертям; ДЗ – дифузійне; УЗЗ – ультразвукове; ХЗ – холодне [1].

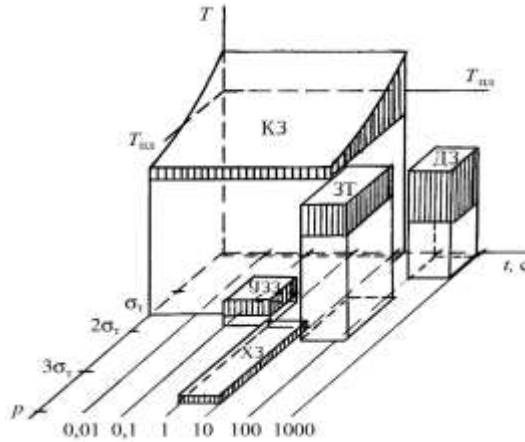


Рисунок 1.1 – Діаграма середніх значень температури, тиску і часу при різних способах зварювання

Процес p , T , A – реалізується при газопресовому зварюванні, а p , T , t , A – при дифузійному. До p , T , f – процесів віднесено зварювання тертям та ультразвукове. Значення теплового T , силового p і часового t факторів для деяких спеціальних способів зварювання у твердому стані показано на рис. 1.1, де: p – тиск, T – температура; $T_{пл}$ – температура плавлення; t – час

Будь-які процеси зварювання тиском можуть супроводжуватися одночасною дією всіх або частини відзначених вище основних і додаткових факторів. Інколи окремі параметри настільки тісно пов'язані, що не можуть самостійно контролюватися. Розглядаючи конкретні способи зварювання тиском, можна більш чітко виділити роль того чи іншого визначального фактору.

При холодному зварюванні головну роль відіграє активна деформація металу, що забезпечує видалення оксидних плівок, фізичний контакт та активацію поверхонь. Роль термічної активації та об'ємної взаємодії неістотна, про що свідчать результати холодного

зварювання алюмінію при температурах до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При p , T – процесах істотну роль відіграє термічна активація. Об'ємна взаємодія здебільшого незначна. При збільшенні часу в p , T , t – процесах, вплив взаємодії матеріалів різко зростає.

За інтенсивністю силової дії способи зварювання тиском умовно поділяють на три групи:

- з низькоінтенсивною силовою дією, що відбувається за рахунок повзучості при швидкості деформації ($10^{-6} \dots 10^{-4} \text{ c}^{-1}$), дифузійне зварювання у вакуумі (ДЗВ) за традиційною схемою;

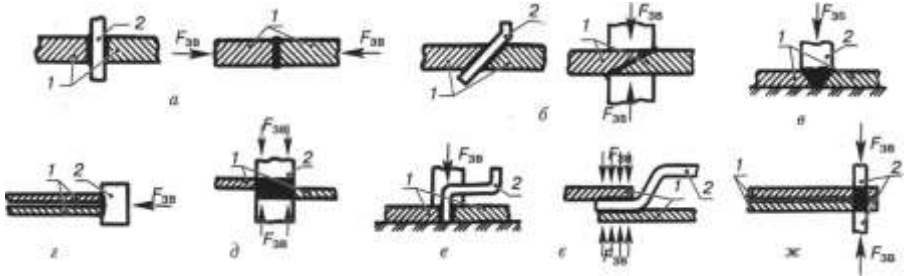
- з середньоінтенсивною силовою дією і середньою швидкістю деформації ($10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ c}^{-1}$), холодне зварювання (ХЗ), зварювання тертям (ЗТ), зварювання прокатуванням (ЗПр) та інші способи з вимушеною активною деформацією;

- з високоінтенсивною силовою дією і високою швидкістю деформації ($10 \dots 10^5 \text{ c}^{-1}$), зокрема магніто-імпульсне зварювання (МІЗ), ударне зварювання у вакуумі (УЗВ), зварювання вибухом (ЗВ).

Машини для зварювання тиском проєктувалися з урахуванням особливостей вищеназваних процесів, як універсальними, так і для конкретних виробів, з урахуванням необхідних технологічних параметрів. Номенклатура машин обумовлена електричною та механічною потужністю та габаритами зварювальних конструкцій. Зварювальні машини дуже легко вмонтовуються у роботизовані комплекси з виготовлення серійної продукції, наприклад, зварювання кузова легкового автомобіля.

Зварювання неметалевих матеріалів (полімерів) відбувається подібно до зварювання металів. Основні схеми контактного теплового зварювання неметалевих матеріалів приведено на рис. 1.2. Слід зауважити, що зварювання неметалевих матеріалів відбувається із нагріванням окремих частин деталей, що потім будуть стискатися і внаслідок спільної пластичної деформації та охолодження буде утворене нероз'ємне з'єднання.

При зварюванні неметалевих труб місця зварювання проєктують із упорами, що фіксують положення деталей та запобігають перекривання перетину труби комірцем із деформованого матеріалу.



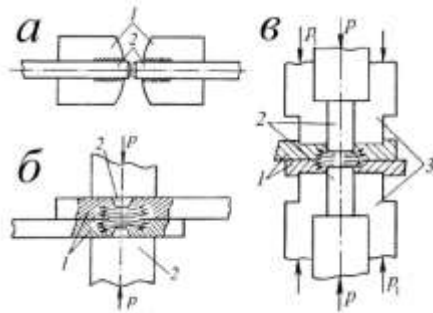
1 – зварювані деталі; 2 – нагрівальний інструмент; $F_{зв}$ – зусилля стиснення при зварюванні

a-e – оплавленням; *з* – проплавленням;

Рисунок 1.2 – Основні схеми контактного теплового зварювання неметалевих матеріалів нагрівальним інструментом листових матеріалів

Холодне зварювання (ХЗ) – це процес зварювання тиском при значній пластичній деформації без додаткового нагрівання деталей, що з'єднуються. Холодне зварювання відбувається при температурі навколишнього середовища і полягає у з'єднанні деталей, що здійснюється шляхом спільного пластичного деформування.

Під час спільної пластичної деформації утворюються міжатомні зв'язки між з'єднуваними деталями. Зближення поверхонь та їх активація забезпечуються пластичними деформаціями, що становлять 55...90 %. Величина стиснення, за холодного зварювання, зазвичай перевищує у 1,5 – 2 рази твердість з'єднуваних матеріалів. Способи холодного стикового зварювання показано на рис. 1.1.

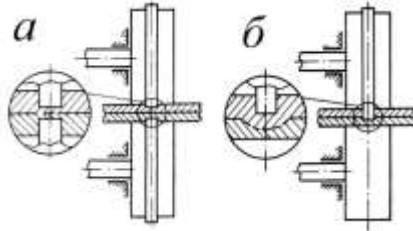


a – стрижнів 2, які знаходяться в затискачах 1; *б* – напусткових з'єднань втисненням пуансонів 2 в деталі 1; *в* – втисненням пуансонів 2 із попереднім стисненням деталей 1 пуансонами 3

Рисунок 1.1 – Схема холодного стикового зварювання

Відповідно, способом ХЗ з'єднуються вироби з металів, які мають високу пластичність при нормальній температурі (20 °С), наприклад, алюміній та мідь. З'єднання деталей способом внапуск (рис. 1.1, б, в) можуть бути: точковими, лінійними, кільцевими та шовними. Схеми холодного шовного зварювання показано на рис. 1.2. Для різних металів, у залежності від способу підготовки поверхонь та геометрії пуансонів, існує певна мінімальна величина втиснення пуансона – $\epsilon_{\min}$, яка необхідна для утворення міцного з'єднання.

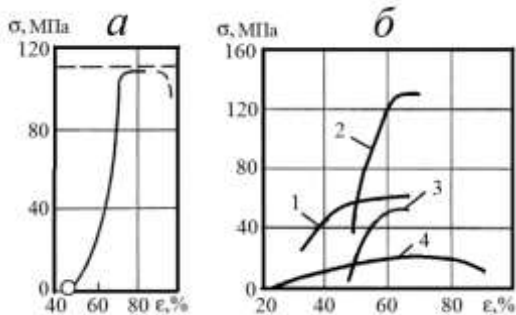
Як показали дослідження, при ХЗ існує залежність міцності з'єднань від величини деформацій при зварюванні. Як видно з рис. 1.3, поки деформація не досягне деякого критичного значення (деформації схоплювання), міцність зчеплення дорівнює нулю.



а – зварювання з двостороннім деформуванням

б – зварювання з одностороннім деформуванням

Рисунок 1.2 – Схеми холодного шовного зварювання



1 – алюміній у наклепаному стані; 2 – електролітична мідь; 3 – алюміній у відпаленому стані; 4 – олово

Рисунок 1.3 – Зміна міцності з'єднань відносно міцності основного металу (а) та міцності з'єднань деяких металів (б) залежно від ступеню втиснення пуансона при ХЗ

В табл. 1.1 наведено необхідну величину пластичної деформації деяких металів та сплавів за холодного зварювання тиском.

Таблиця 1.1 – Необхідна величина пластичної деформації деяких матеріалів при холодному зварюванні внапуск [1]

Метал	$\varepsilon_{\min}, \%$	Метал	$\varepsilon_{\min}, \%$	Метал	$\varepsilon_{\min}, \%$
Алюміній	55...60	Свинець	80...85	Титан	70...75
Алюмінієві сплави	75...80	Олово	85...88	Армко-залізо	85...92
Мідь	85...90	Цинк	90,8	Нікель	85...90
Індій	10...15	Кадмій	82,5	Срібло	82...86

Для «м'якого» алюмінію деформація схоплювання (критична деформація) дорівнює приблизно 45 %. При подальшому збільшенні деформації, міцність з'єднання швидко зростає, досягаючи максимуму при деформації 60...70 %. Зниження міцності з'єднань після досягнення максимуму пояснюється зменшенням товщини металу в зоні зварювання і відривом зварної точки замість зрізу.

Головним параметром процесу ХЗ є пластична деформація металу в зоні з'єднання. Необхідна для зварювання деформація залежить від властивостей металу, способу підготовки поверхонь і типу з'єднання. Для визначення необхідного тиску p при зварюванні двох циліндричних заготовок можна скористатися рівнянням:

$$p = \sigma_T \left(1 + \frac{d}{6h} \right)$$

де d – діаметр заготовок, мм; h – довжина частини заготовок, яка деформується (відстань між затискачами заготовок), мм.

За цим рівнянням знаходять тиск при з'єднанні металів із високопластичними прокладками. При цьому слід враховувати розподіл напружень та наявність різних зон по радіусу (зони застою, гальмування та плину), що впливають на процес зварювання. При ХЗ встик, тиск дорівнює 700...800 МПа для алюмінію, 2000...2500 МПа – для міді, 1500...2000 МПа – для міді з алюмінієм. Довжина вильоту стержня (l_0) знаходиться в межах $(1,0...1,2) d$ для алюмінію та $(1,25...1,50) d$ – для міді, де d – діаметр стержня. Для заготовок прямокутного перерізу виліт дещо більший, ніж для циліндричних,

при ширині, яка дорівнює діаметру, та однакових інших умовах. Величина вильоту заготовки може змінюватися в досить широкому інтервалі. Головною умовою визначення цього параметра є необхідність симетрії відносно стику деформації металу, без втрати стійкості кінців заготовок. За збільшенням діаметру (товщини) стержня абсолютне значення вильоту зростає, але його відношення до діаметра зменшується. Для алюмінію виліт змінюється від $0,5 d$ для $d = 30$ мм до $1,0 d$ для $d = 1...3$ мм. Для міді виліт змінюється від $0,75 d$ до $1,10 d$ відповідно для діаметрів 2 і 20 мм. Звичайно, можуть бути і відхилення від цих значень. За зварюванні різномірних металів виліт заготовки з більш твердого і відповідно менш пластичного металу є більшим.

Метою підготовки поверхонь до ХЗ є видалення жирових та інших забруднень. На виробництві використовують наступні способи:

- механічне зачищення стальними обертовими щітками;
- ретельне знежирення поверхонь різними розчинниками та ультразвуковим методом;
- прожарювання алюмінієвих заготовок при температурі $300...400\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вільному доступі повітря для утворення оксидних плівок та видалення жирових забруднень;
- покриття поверхні міді тонким ($6...20$ мкм) твердим шаром гальванічного нікелю або хрому;
- обрізування кінця заготовки перпендикулярно до її осі чистим інструментом.

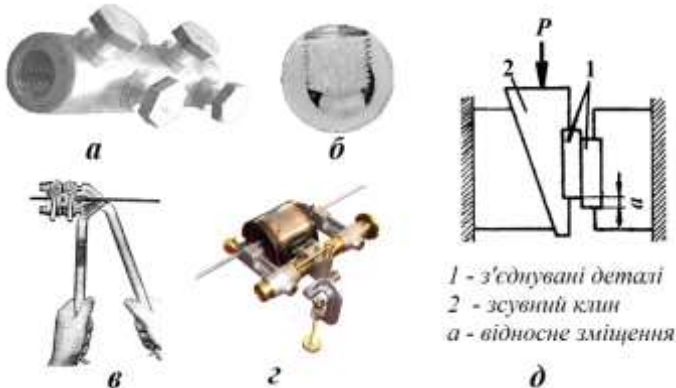
Вплив підготовки поверхонь до ХЗ на якість зварювання показано в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Міцність з'єднання зразків з алюмінію товщиною 2 мм при холодному зварюванні втисненням пуансона діаметром 6 мм

Обробка поверхонь перед зварюванням	Руйнівна сила при випробуваннях на зсув, Н		
	мінімальна	максимальна	середня
Зачищення сталлю щіткою	2100	2500	2350
Те ж з наступним натиранням руками	1150	1850	1550
Те ж з наступним змащуванням маслом і витиранням ганчіркою	350	1150	800
Те ж з натиранням парафіном	0	0	0

Негативний вплив органічних плівок пов'язаний із тим, що вони важко видаляються із зони з'єднання при деформації. Між молекулами органічної речовини і поверхневими атомами металу утворюється відносно міцний зв'язок і тонка плівка набуває пружності твердого тіла. Товщина плівки не лімітується мономолекулярним шаром, але чим більшою є товщина, тим менше виявляються властивості пружного тіла [1].

Для ХЗ застосовують машини з ручним або механічним (електричним) приводом. Холодне стикове зварювання може виконуватися як з одноразовим, так і багаторазовим осадженням із щоразовим установленням вильоту деталей у затискачах. На рис. 1.4 показано з'єднувальну муфту (а) для ХЗ алюмінієвого дроту кліщі (в) та прилад для зварювання дротів (г). Як видно на світлині б (рис. 1.4), внаслідок закручування гвинту і стискання дроту, в зоні контакту дроту з муфтою відбувається спільна пластична деформація і утворюється з'єднання. Холодне зварювання може виконуватися шляхом стиснення заготовок з їх одночасним відносним зсувом під дією тангенціальних зусиль (рис. 1.4, д). Зварювання зсувом застосовують для з'єднання трамвайних дротів.



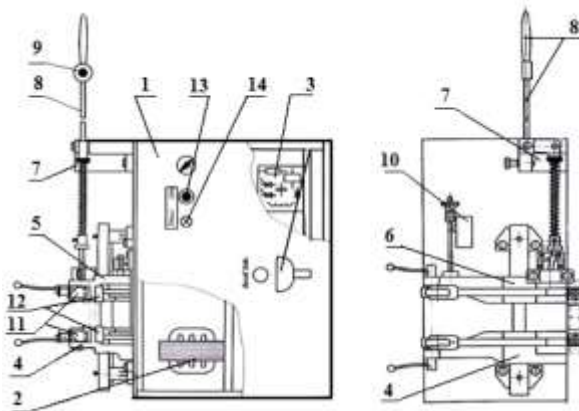
а – з'єднувальна муфта для ХЗ алюмінієвого дроту; б – макрошліф холодного з'єднання; в – кліщі для холодного зварювання дротів; г – прилад для холодного зварювання дротів; д – зварювання зсувом

Рисунок 1.4 – Муфта та макрошліф холодного з'єднання і прилади для ХЗ дротів

Устаткування для ХЗ встик, має затискні пристрої з механізмами ручного, гідравлічного або пневматичного затиснення

дроту, пристрій для спрямування руху заготовок, механізм осаджування, апаратуру керування, допоміжні механізми і пристрої для обрізування кінців заготовок та видалення облою. Машини для стикового зварювання знайшли широке застосування для з'єднання деталей зі сталі, кольорових металів і сплавів. Стиковим зварюванням з'єднують вироби з перерізом від сотих часток до декількох тисяч мм².

Будову установок для холодного зварювання розглянемо на прикладі машини МС-802У (рис. 1.5), яка складається із: корпусу (1) із вбудованим зварювальним трансформатором (2), електромагнітного контактору (3), перемикача ступенів, блоку пускача і системи охолодження. Зверху на корпусі машини є нерухомий затискний пристрій (4), а справа від нього рухомий затискний пристрій (5), який закріплений на штанзі (6), кінці якої знаходяться в двох підшипниках ковзання. На плиті встановлений механізм подачі і осадки (7). На важелі (8) змонтована електрична кнопка (9) для включення зварювального струму. Відключення відбувається вимикачем (10). Затискні пристрої мають радіальний хід верхньої затискаючої губки (11) та підвід зварювального струму до нижніх губок (12), за подачі напруги на машині загорається сигнальна лампа (13), кнопка К2 (14) використовується для відпалу зварних з'єднань.



- 1 – корпус; 2 – трансформатор; 3 – електромагнітний контактор; 4 – нерухомий зажимний пристрій; 5 – рухомий затискний пристрій; 6 – штанга; 7 – механізм подачі і осадки; 8 – важелі; 9 – кнопка для включення зварювального струму; 10 – вимикач; 11 – верхня затискаюча губка; 12 – нижні губки (з підводом електричного струму), 13 – сигнальна лампа; 14 – кнопка К2

Рисунок 1.5 – Машина холодного зварювання МС-802У

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Суть і особливості зварювання в твердому стані порівняно зі зварюванням плавленням.
2. Класифікація способів зварювання тиском за температурою зварювання, головні параметри процесу та інтенсивність і величина пластичної деформації.
3. Три умовно виділені стадії в узагальненій схемі зварювання в твердому стані.
4. Суть та головні параметри процесів: холодного зварювання; ХЗ з деформацією зсуву.
5. Типи зварних з'єднань при використанні: холодного зварювання; ХЗ з деформацією зсуву.
6. Технологічні особливості: холодного зварювання; ХЗ з деформацією зсуву.
7. Призначення окремих елементів машин.
8. Оцінка якості зварювання виробів при ХЗ.
9. Устаткування, переваги, недоліки та область використання: холодного зварювання; ХЗ з деформацією зсуву.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки для зварювання.
2. Вимірювальні прилади та допоміжне обладнання, а саме: набір слюсарного та вимірювального інструментів (динамометр, штангенциркуль, молоток, зубило).
3. Машини для зварювання тиском.
4. Засоби індивідуального захисту (окуляри, рукавиці, халат, тощо).
3. Демонстраційні матеріали.

5 ВКАЗІВКИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

До лабораторних (практичних) робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці, при роботі з електроустановками до 1000 В та пожежної безпеки.

Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.

Для захисту від бризок та виплесків металу при зварюванні зварник (студент) повинен працювати в спеціальних прозорих окулярах або за прозорими щитами та мати відповідний спецодяг. Перебуваючи біля рухомих частин машин при подачі повітря та електричного живлення необхідно дотримуватися заходів безпеки (можливе спрацювання пневматичного приводу машини при несправному регуляторі або елементах пневматичного пристрою).

Вимірювання необхідно виконувати тільки після відключення машин від мережі автоматичним вимикачем. Рукоятку автомата необхідно перевести в положення «вимкнено».

У випадку виявлення неполадок обладнання, студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом, студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Перед тим, як приступати до виконання лабораторної (практичної) роботи студент зобов'язаний вивчити методичні вказівки, або за допомогою рекомендованої літератури самостійно ознайомитися з матеріалами конкретних робіт; вивчити інструкцію по техніці безпеки; відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

2. Студенти ознайомлюються з технологічним процесом та обладнанням для холодного зварювання тиском. Проводять

дослідження впливу стикання на якість з'єднання на зразках запропонованих викладачем.

3. Встановити, зразки з вильотом 3 мм. Провести зварювання з осадкою на 1 мм ($\epsilon = 16,7\%$), 2 мм ($\epsilon = 33,3\%$), 3 мм ($\epsilon = 50\%$) та 4 мм ($\epsilon = 66,7\%$).

4. Перевірити якість з'єднання. Зробити оцінку зварювання.

5. Виконати зварювання зразків із зачищеною та забрудненою поверхнею. Провести аналіз зварювання.

6. Зробити ескізи досліджуваних зразків (об'єктів).

7. Зробити вимірювання, розрахунки чи опис об'єктів.

7. Оформити звіт на загальних засадах. Зробити опис та призначення елементів обладнання.

8. Опрацювати контрольні запитання п.4.

7 ЗМІСТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт по виконаній роботі повинен містити наступні відомості:

- мета роботи;
- опис методики проведення експериментів чи досліджень;
- результати експериментів чи досліджень відобразити у вигляді таблиць, графіків чи ескізів або опису вивченого об'єкту;
- аналіз отриманих результатів, опис та висновки по роботі повинні містити інформацію про проведені дослідження.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Перелік навчальної та довідкової літератури

1. Кривцун, І. В. Спеціальні способи зварювання : підручник. [Текст] / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.

2. Бугаєнко, Б. В. Технології та устаткування зварювання

тиском : навчальний посібник. [Текст] / Б. В. Бугаєнко, А. М. Тубальцев, Є. А. Бутурля. – Миколаїв : НУК, 2018. – 135 с.

3. Пахаренко, В. А. Зварювання тиском: Навчальний посібник / В. А. Пахаренко. – Київ: Екотехнологія, 2011. – 272 с.

Рекомендовані інформаційні джерела

1. Журнал «Автоматичне зварювання». Вид. Міжнародна Асоціація "Зварювання". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

2. Журнал «Сварщик». Вид. ІЕЗ ім. Е.О. Патона. Київ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://welder.stc-paton.com/ru/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

4. Наукова бібліотека НУ "Запорізька політехніка". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://library.zntu.edu.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

5. Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zp.edu.ua/kafedra-integrovanih-tehnologiy-zvaryuvannya-ta-modelyuvannya-konstrukciy> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.