

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«Київський політехнічний інститут»**

## **РЕМОНТНЕ ЗВАРЮВАННЯ**

### **Методичні вказівки**

до виконання лабораторних робіт  
для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання»

*Затверджено методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»*

Київ

2013

Ремонтне зварювання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: С.М. Гетманець, Д.В. Степанов, О.С. Василенко – К: НТУУ «КПІ», 2013. 38 –с.

*Гриф надано Методичною радою  
ЗФ НТУУ «КПІ»  
(Протокол № 5 від 28.01.2013р.)*

Навчальне видання

## **РЕМОНТНЕ ЗВАРЮВАННЯ**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
для студентів напряму 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: *Сергій Михайлович Гетманець, к.т.н., доцент*  
*Денис Володимирович Степанов, асистент*  
*Василенко Олександр Сергійович, асистент*

Відповідальний

редактор *І.В. Смирнов, д.т.н., доцент*

Рецензент *Л.А. Жданов, к.т.н., доцент*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| <b>Вступ</b>                                 | 4  |
| <b>Лабораторна робота №1</b>                 |    |
| Газотермічний спосіб розробки кромки тріщин  | 5  |
| <b>Лабораторна робота №2</b>                 |    |
| Електродуговий спосіб розробки кромки тріщин | 15 |
| <b>Лабораторна робота №3</b>                 |    |
| Механічний спосіб розробки кромки тріщин     | 21 |
| <b>Лабораторна робота №4</b>                 |    |
| Технологічні особливості заварювання тріщин  | 29 |
| Література                                   | 39 |

## ВСТУП

Дисципліна «Ремонтне зварювання» спрямована на вивчення основних принципів і положень технологічних процесів ремонту деталей і конструкцій за допомогою зварювання і є однією з базових технологічних дисциплін підготовки бакалаврів напрямку 6.050504 «Зварювання» для студентів зварювального факультету спеціальності «Технологія і устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій».

Метою дисципліни є формування у студентів базових уявлень і знань про сучасні принципи і положення технології ремонтного зварювання, основні види дефектів і ушкоджень металоконструкцій та методи їх усунення, зварювальні матеріали і обладнання для ремонтного зварювання, закономірності впливу режиму зварювання та технологічних факторів на фізико-механічні властивості ремонтних зварних з'єднань деталей і конструкцій з низьковуглецевих і низьколегованих сталей та чавуну.

Метою проведення лабораторних робіт з дисципліни «Ремонтне зварювання» являється набуття студентами знань, умінь та практичних навичок з технології підготовки основних видів дефектів і ушкоджень деталей і конструкцій до ремонту зварюванням. Зміст лабораторних робіт з дисципліни спрямований на вивчення механічних і газотермічних способів підготовки кромки та технологічних особливостей ремонту тріщин зварюванням і отримання практичних навичок їх виконання.

Лабораторні роботи з дисципліни «Ремонтне зварювання» носять практичний характер, в кожній з них стисло викладені необхідні для виконання роботи основні теоретичні положення, методика проведення і завдання для самостійного виконання лабораторної роботи студентами, приклад оформлення звіту з проведеної роботи та контрольні запитання для визначення ступеня засвоєння студентами отриманих знань.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### РОЗРОБКА КРОМОК ТРІЩИНИ ГАЗОКИСНЕВИМ РІЗАННЯМ

**Мета роботи:** вивчити спосіб і отримати практичні навички розробки кромки дефектів деталей та конструкцій газокисневим різанням.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ефективність ремонту зварюванням залежить від призначення раціональної підготовки дефектів і пошкоджень деталей та конструкцій до зварювання. Процес підготовки, в свою чергу, залежить від виду дефекту або пошкодження, місця розташування, форми і розмірів, доступності, тощо.

Найбільший обсяг робіт з ремонтного зварювання припадає на ремонт деталей і конструкцій, пошкоджених внаслідок утворення тріщин або розтріскування. Метод розробки кромки тріщини обирають залежно від глибини, довжини і конфігурації тріщини, вимог до підготовки кромки і технічних можливостей його застосування у кожному конкретному випадку.

Для забезпечення гарантованого провару тріщини і отримання якісного зварного з'єднання форма та розміри розробки кромки тріщини повинні, по-перше, забезпечити необхідну глибину проплавлення для обраного способу зварювання. По-друге, максимально зменшити кількість необхідного електродного або присадкового металу з метою мінімізації рівня зварювальних напружень і деформацій у з'єднанні.

Розробку кромки тріщини виконують механічними способами і газотермічними способами. До механічних способів розробки кромки відносять фрезерування, стругання, рубання пневматичним, електричним або ручним зубилом, різання абразивними кругами, проточку на токарних верстатах, свердлення, тощо.

Газотермічні способи розробки кромки тріщини включають в себе різання газокисневими різачками і стругання, яке ще називають поверхневим різанням, а також повітрянодугове, плазмоводугове та електродугове стругання металу.

Практика показує, що газотермічні способи розробки кромки мають ряд суттєвих переваг перед механічними способами, а саме високу швидкість розробки кромки, можливість одержання раціональної форми розробки з мінімальним об'ємом наплавленого металу, хорошу видимість процесу і гарантію повного розкриття тріщини.

Газокисневе стругання або поверхнєве різання виконують за допомогою різачки киснево-ацетиленовим або киснево-пропановим полум'ям. Поверхнєве різання здійснюють як ручним так і машинним способом. Схема розробки кромки газокисневим струганням, положення різачки та напрямку дії полум'я наведені на рис.1.1

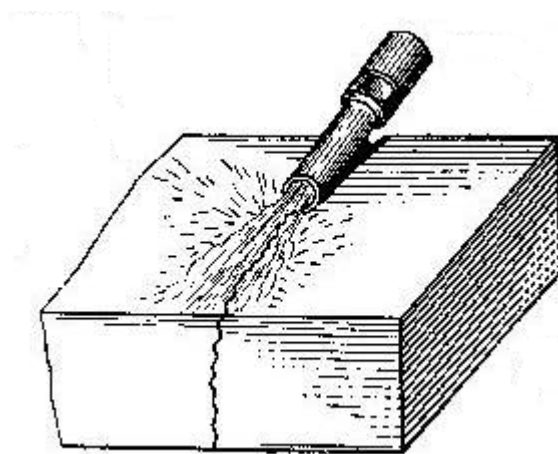


Рисунок 1.1 - Розробка кромки тріщини газокисневим поверхневим різанням

Газокисневе поверхнєве різання доцільно використовувати для тріщин, які не є наскрізними і не доходять до внутрішньої поверхні пошко-

дженого елемента деталі або конструкції на відстань 2 – 3мм і більше, що визначають ультразвуковою дефектоскопією.

При розробці кромки тріщини поверхневим різанням отримують U – подібну форми розробки (рис.1.2), яка забезпечує хорошу доступність до кореня шва при послідовному зварюванні тріщини і достатньо високу чистоту поверхні кромки.

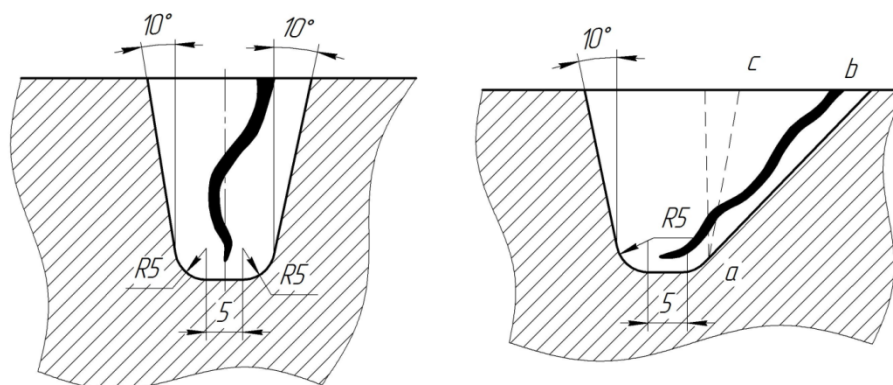


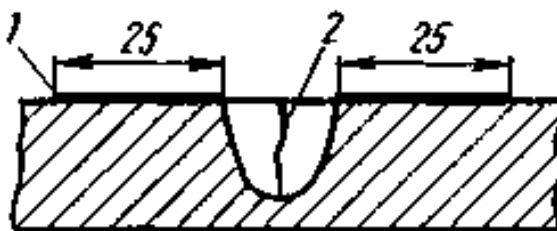
Рисунок 1.2 - U - подібна форми розробки кромки тріщини

При газокисневій розробці тріщин деталей і конструкцій з низьковуглецевої сталі з поверхні кромки достатньо лише видалити залишки шлаку після різання. При розробці газокисневим струганням кромки тріщин сталей з підвищеним вмістом вуглецю має місце науглецювання металу поверхні кромки. Тому для попередження утворення тріщин при зварюванні після газокисневого стругання потрібна механічна зачистка поверхні до чистого основного металу.

Перед зварюванням тріщини з метою запобігання утворення дефектів формування зварного шва (пори, свищі, несплавлення тощо) основний метал, прилеглий до тріщини, очищують до металевих блиску на ширину не менше 25мм з кожної сторони тріщини (рис.1.3).

При газокисневому поверхневому струганні металу використовують окислюючий газ – кисень та палильний газ – ацетилен, пропан, бутан, метан,

тощо. Співвідношення між окислювачем і палим газом визначає характер горіння полум'я – окислювальне, нейтральне або відновлювальне.



*1 – зона зачистки поверхні; 2 – тріщина*

Рисунок 1.3 - Зачистка поверхні прилеглого до тріщини основного металу

Поверхнєве газокиснєве різання кромки тріщини виконують окислювальним полум'ям. Струмїнь кисню направляють під невеликим кутом до поверхні металу таким чином, щоб ріжучий газ утворював на поверхні лише поздовжню напівкруглу канавку.

Чим більше діаметр струменю кисню та кут його нахилу до поверхні, тим більше буде ширина і глибина канавки різку. Кут нахилу струменю ріжучого газу до площини поверхні металу підтримують в межах 15 – 20°. Швидкість витікання струменю з сопла мундштука при поверхневому різанні повинна бути нижче, а швидкість переміщення різача (швидкість різання) вище, ніж при наскрізному різанні металу однакової товщини.

Процес кисневого поверхневого різання характеризується великою витратою ріжучого кисню - до 80 м<sup>3</sup>/год на один різак. У зв'язку з цим при різанні для живлення киснем застосовується така апаратура: постові вентиля (при живленні від трубопроводу) зі збільшеними прохідними каналами; редуктори великої пропускної здатності (зазвичай рампові, зокрема ДКР-250); шланги діаметром не менше 9,0 мм.

Різачи для поверхневого різання, як ручний, так і механізований, мають великі прохідні перетини і діаметри вихідних отворів кисневого



струменя (в ручних різачках - круглий перетин діаметром 2,5-9,5 мм). Машинні різачки для стругання поверхонь іноді мають отвори щілинного типу. Підігрівальне полум'я застосовується концентроване, сфокусоване відповідним свердлінням отворів для горючої суміші. В різачках для поверхневого різання використовуються як ацетилен (з витратами приблизно 1-2 м<sup>3</sup>/год), так і його замітники (з відповідно більшими витратами).

Різачки для ручного поверхневого різання мають, як правило, велику довжину (800-1200 мм) і забезпечені щитками для захисту руки працюючого. У ряді випадків різачки встановлюються на візок, що полегшує підтримання необхідного кута атаки струменя.

Доцільним є клапанне включення та перекриття кисневого струменя (наприклад, в різачках РП-51) замість вентиляного.

В різачках для механізованого різання частини, що найбільш сильно нагріваються, зазвичай охолоджуються проточною водою, а у ручних різаків мідні мундштуки бронюються жароміцною сталлю в місці їх контакту з розрізаним металом.

Технічні характеристики різаків для ручного поверхнево-кисневого різання наведені в таблиці 1.1.

За допомогою газокисневого поверхневого різання видаляють крім тріщин різноманітні дефекти зовнішніх шарів сталевих відливок і литва, шлакові включення та ін., дефекти формування зварних швів – пори, непровари, подрізи, виконують підрубку зворотної сторони кореневих швів для їх наступного підварювання, тощо.

Газополуменева обробка металів, у тому числі газокисневе поверхневе різання при розробці кромek тріщин, вимагає суворого дотримання встановлених правил і вимог техніки безпеки при проведенні вогневих робіт з використанням газополуменевої обробки.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики різаків для ручного поверхнево-кисневого різання

| Тип різака | № мундштука | Розміри канавок, мм |         | Режим роботи   |                          | Орієнтовна маса металу, що видаляється за хвилину, в кг | Витрата газів, м <sup>3</sup> /год |          | Питомі витрати газів, л/кг |          |
|------------|-------------|---------------------|---------|----------------|--------------------------|---|------------------------------------|----------|----------------------------|----------|
|            |             | ширина              | глибина | Тиск кисню МПа | Швидкість різання в м/хв |   | Кисень                             | Ацетилен | Кисень                     | Ацетилен |
| РП-50      | 1           | 15-30               | 2-12    | 3-6            | 1.5-8                    | 1-2   | 18-40                              | 0.9-1    | 180-300                    | 5-7      |
|            | 2           | 18-35               | 2-16    | 3-8            | 1.5-10                   | 1.2-3.5   | 20-55                              | 0.9-1    | 160-250                    | 4-14     |
|            | 3           | 30-50               | 2-20    | 3.5-10         | 1.5-10                   | 2.6-4.5   | 30-75                              | 0.9-1    | 220-300                    | 3-7      |
| РП-51      | 1           | 6-12                | 2-6     | 4-6            | 1-2.5                    | -   | 5.5-7.5                            | 1.5-2    | 300-500                    | 90-170   |
|            | 2           | 11-20               | 2-5     | 2-6            | 1-6                      | -   | 9-18                               | 1.5-2    | 190-360                    | 16-60    |
| РВП-50     | 2           | 18-30               | 2-10    | 3-8            | 1-6                      | -   | 13-30                              | 1.5-2    | 150-270                    | 8-36     |

Процес поверхневого різання, так само як і роздільного, вимагає початкової теплової підготовки металу до температури його займання в кисні.

При великих швидкостях поверхневого різання (до 10 м/хв.) скорочення тривалості попереднього підігріву є досить важливим. Найбільш ефективним методом скорочення цього часу є подача до початкової точки різку сталевого прутка діаметром 4-6 мм, який, швидше нагріваючись і займаючись, дає додаткове тепло для початку різання. Так як пристрої для подачі такого прутка роблять різак важчим, ця операція часто здійснюється підсобним робітником, який виконує і ряд інших допоміжних операцій (очищення від шлаку, підготовку деталей тощо). У ряді випадків подача присадки замінюється створенням початкових зарубок зубилом, особливо у випадку, якщо початок різання не збігається з крайкою деталі. При поча-

тковому підігріві різак встановлюють майже вертикально, а в момент включення ріжучого кисню повертають у відповідне положення (з кутом атаки 10-30 °).

Дуже важливою при поверхневому різанні є чистота кисню, причому зниження чистоти від 99 до 98% зменшує продуктивність і підвищує питому витрату кисню приблизно на 15%. Різка киснем чистотою нижче 95% взагалі неможлива.

В результаті напруженого стану і структурних змін металу, що викликаються тепловим впливом поверхневого різання, при деяких складах сталей поблизу різку утворюються тріщини, в зв'язку з чим у ряді випадків різання застосовується попередній підігрів.

Не вимагають підігріву при різанні сталі з вмістом С до 0,5% і низьколеговані сталі 15М, 15ХМ, 20ХМ, 20Х2Н4А та ін.. Попередній підігрів до 120° С потрібно тільки при різанні в зимовий час для сталей 25ХН4, 30Н, 30ХМА, 35Х та ін.. Завжди вимагають попереднього підігріву до 120-300° С сталі з вмістом С більше 0,6%, а також низьколеговані 30Г2, 30ХГСА, 35ХМА, 38ХМЮА, 50ХГ та ін.. Ще більший нагрів (300-450° С) потрібно для сталей марок від У9 до У13, 55С2, ШХ6, ШХ15, 9ХВГ та ін..

Глибока вибірка металу може здійснюватися шляхом видалення металу в кілька проходів. Послідовність виконання такого різання показана на рис. 1.4.

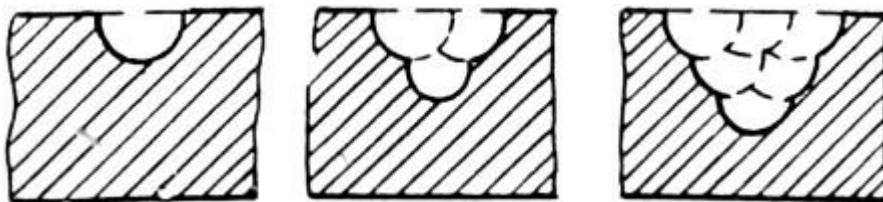


Рисунок 1.4 – Послідовність стругання в декілька проходів

Часто після газо-кисневого поверхневого різання поверхня, що контактувала з полум'ям насичується вуглецем, окислюється тощо, тому після газо-кисневого стругання потрібно провести ще й механічну обробку.

Для уникнення зворотного удару та наступного вибуху принципове значення має порядок відкривання вентилів різачка при запалюванні пальної суміші. Першим відкручують вентиль подачі кисню, потім вентиль подачі пального газу і лише після цього запалюють полум'я. При гасінні ж полум'я після закінчення різання вентиля різачка закривають у зворотному порядку – першим перекривають пальний газ, другим – кисень.

## **ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ**

Машина механізованого газокисневого різання АСШ - 2, газові балони з киснем і з пальним газом, дослідні зразки з низьковуглецевої сталі, манометр, штангенциркуль, металева лінійка, секундомір. Місце роботи повинно бути забезпечено справною місцевою витяжною вентиляцією.

## **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. Ознайомитися з правилами і вимогами техніки безпеки при виконанні робіт з газополуменевої обробки металів.
2. Ознайомитися з конструкцією, технічними характеристиками і порядком роботи з машиною для газокисневого різання АСШ-2.
3. Обговорити і скласти разом з викладачем план проведення дослідів в лабораторній роботі.
4. Встановити діапазон зміни параметрів режиму в дослідях газокисневого поверхневого різання.
5. Виконати досліди, змінюючи швидкість переміщення різачка відносно зразка (тобто швидкість поверхневого різання). Заміряти розміри канавки і занести отримані результати дослідів у таблицю 1.2.
6. Виконати досліди, змінюючи кут нахилу різачка відносно поверхні зразка. Заміряти розміри канавки і занести отримані результати дослідів у таблицю 1.2.

7. Виконати досліди, змінюючи тиск ріжучого кисню у різачу. Заміряти розміри канавки і занести отримані результати дослідів у таблицю 1.2 результатів лабораторної роботи.

Таблиця 1.2 - Параметри режиму газокисневого поверхневого різання і розміри канавки

| №  | Параметри поверхневого різання |                           |                                     |                         | Розміри канавки, мм |         | Прим. |
|----|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------|-------|
|    | Номер мундштука                | Тиск ріжучого кисню, атм. | Швидкість переміщення різача, мм/с. | Кут нахилу різача, град | Ширина              | Глибина |       |
| 1  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 2  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 3  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 4  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 5  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 6  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 7  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 8  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 9  |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 10 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 11 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 12 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 13 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 14 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 15 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 16 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 17 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 18 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 19 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |
| 20 |                                |                           |                                     |                         |                     |         |       |

## **ВИМОГИ ДО ЗВІТУ**

1. Навести тему роботи, мету і основні теоретичні відомості.
2. Дати опис обладнання, яке було використано у роботі.
3. Описати порядок виконання лабораторної роботи.
4. Занести отримані результати дослідів у таблицю.
5. Побудувати графік залежності розмірів канавки від тиску ріжучого кисню при поверхневому різанні.
6. Побудувати графіки залежності розмірів канавки від швидкості переміщення і кута нахилу різача при газокисневому різанні.
7. Зробити висновки з лабораторної роботи.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Основні чинники, які визначають форму і розміри розробки кромки тріщини.
2. Класифікація методів розробки кромки під зварювання та основні технологічні особливості застосування.
3. Особливості технологічного процесу розробки кромки тріщини газокисневим поверхневим різанням.
4. Вплив параметрів газокисневого поверхневого різання на розміри канавки, що утворюється.
5. Які гази використовують для поверхневого різання при розробці кромки тріщини.
6. Переваги та недоліки розробки кромки тріщини газокисневим поверхневим різанням.
7. Заходи безпеки при газополуменевій обробці металів. Порядок запалювання та гасіння полум'я різача.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ЕЛЕКТРОДУГОВИЙ СПОСІБ РОЗРОБКИ КРОМОК ТРИЩИН

**Мета роботи:** вивчити спосіб і отримати практичні навички розробки кромки дефектів деталей та конструкцій електродуговою обробкою.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним з поширених способів вогневої підготовки дефектів деталей і конструкцій до ремонтного зварювання є електродугове різання і стругання – поверхнєве різання.

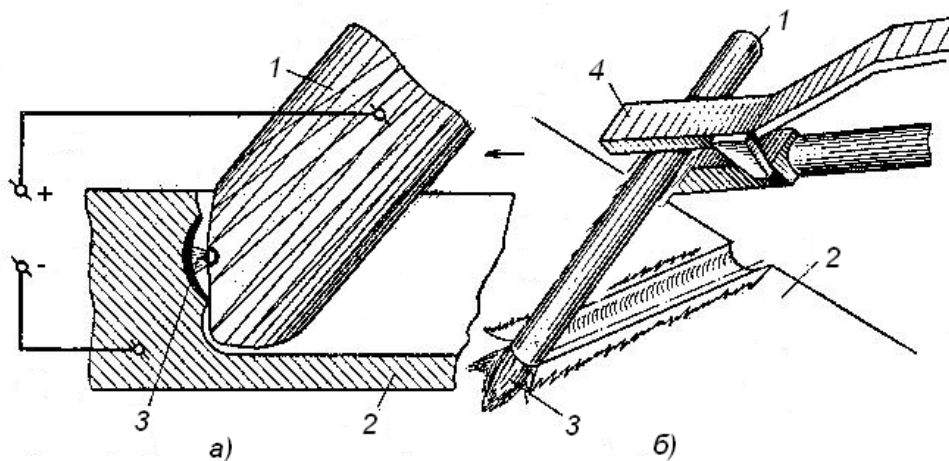
Електричне дугове різання покритим сталевим електродом застосовують тільки для грубого розділення металу. Процес дугового різання розпочинають збудженням електричної дуги на верхній кромці металу на початку різку, а потім переміщують вниз, вздовж стінок різку, який утворюється. При цьому краплі розплавленого металу, що утворюються, виштовхують з порожнини різку козирком з покриття, що утворюється на кінці електрода. Козирок також захищає стрижень електроду від короткого замикання на метал, що розрізається.

При електродуговому різанні металу електрод підтримують під кутом  $60 - 90^\circ$  до поверхні виробу. При різанні металу товщиною більше 10 – 12 мм електрод переміщують вздовж лінії різку з зворотно-поступальними коливаннями (рухом) електроду від нижньої до верхньої кромки різку. При дуговому різанні металу використовують постійний струм зворотної полярності. При дуговому різанні чавуна кращі результати дає змінний струм.

До основних недоліків електродугового різання металу відносять малу продуктивність процесу, важкі умови роботи зварника внаслідок великої кількості диму і дуже низьку якість різку. Для підвищення продуктивно-

сті різання і покращення якості різу використовують спеціальні пальники, у яких створюється струмінь стислого повітря, що видуває рідкий метал.

При розробці кромки тріщини електродуговим струганням (поверхневим різанням) покритий електрод підтримують під кутом  $30 - 45^\circ$  до поверхні метала і переміщують його робочим кінцем вперед, занурюючи дугу вглиб метала на декілька міліметрів відносно поверхні виробу, як показано на рис.2.1



*а) – схема дії дуги; б) – схема поверхневого різання  
1 – покритий електрод; 2 - метал, що розрізається;  
3 - електрична дуга; 4 – електродотримач*

Рисунок 2.1 – Утворення канавки і схема дії дуги при електродуговому струганні

При електродуговому поверхневому різанні глибина канавки різі, що має U - подібну форму, залежить від величини струму дуги, швидкості різання і кута нахилу електроду до поверхні метала. При збільшенні струму дуги і кута нахилу електроду глибина канавки зростає. При підвищенні швидкості різання глибина канавки зменшується.

Діаметр покритого електроду для поверхневого різання вибирають на 2 - 4 мм менше ширини канавки, яку необхідно отримати. При необхідності одержання U – подібної розробки кромки більшої ширини електро-



дом при струганні здійснюють поперечні коливання за відомими схемами. Поверхню канавки зачищають абразивним кругом до металевого блиску.

В таблиці 2.1 наведено рекомендовані параметри для електродугового різання та зварювання.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані параметри електродугового різання та зварювання

| № | Марка електроду | Ø, мм | Рід струму | Полярність | Сила струму, А | Напруга на дузі, В |
|---|-----------------|-------|------------|------------|----------------|--------------------|
| 1 | АНР-2           | 4     | Постійний  | Пряма      | 250-300        | 30-36              |
|   |                 | 5     |            |            | 320-380        | 30-37              |
|   |                 | 6     |            |            | 360-420        | 32-38              |
| 2 | УОНИ 13/55      | 3     | Постійний  | Обернена   | 80-100         | 22-25              |
|   |                 | 4     |            |            | 130-160        |                    |
|   |                 | 5     |            |            | 180-210        |                    |
|   |                 | 6     |            |            | 210-240        |                    |
| 3 | МР-3            | 3     |            |            | 110-140        | 22-25              |
|   |                 | 4     |            |            | 160-220        |                    |
|   |                 | 5     |            |            | 180-260        |                    |
| 4 | АНО-4           | 3     |            |            | 100-140        | 22-25              |
|   |                 | 4     |            |            | 170-210        | 50                 |
|   |                 | 5     |            |            | 190-270        | 50                 |

Основними перевагами електродугового способу обробки металів є простота застосування і доступність. Цей спосіб застосовують не тільки для розробки кромки тріщини. Дугове різання і стругання використовують також для видалення поверхневих дефектів лиття та зняття з поверхні певного шару металу.

## **ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ**

Джерело живлення постійного струму ВДГ-301, спеціальні покриті електроди для дугового різання АНР-2, покриті електроди для дугового зварювання АНО-4, УОНИ 13/55, дослідні зразки з низьковуглецевої сталі, штангенциркуль, металева лінійка, секундомір. Місце роботи повинно бути забезпечено справною місцевою витяжною вентиляцією.

## **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. Ознайомитися з правилами і вимогами техніки безпеки при виконанні робіт з електродугової обробки металів.
2. Ознайомитися з конструкцією, технічними характеристиками і порядком роботи з обладнанням, що буде використано у дослідях.
3. Обговорити і скласти разом з викладачем план проведення дослідів в лабораторній роботі.
4. Встановити діапазон зміни в дослідях параметрів режиму електродугового поверхневого різання.
5. Виконати дослід, змінюючи швидкість переміщення ріжучого електроду відносно зразка (тобто швидкість поверхневого різання). Заміряти розміри канавки, занести отримані результати дослідів у таблицю 2.2.
6. Виконати дослід, змінюючи кут нахилу ріжучого електроду відносно поверхні зразка. Заміряти розміри канавки і занести отримані результати дослідів у таблицю.
7. Виконати дослід, змінюючи силу струму дуги ріжучого електроду. Заміряти розміри канавки і занести отримані результати дослідів у таблицю.

Таблиця 2.2 - Параметри режиму електродугового поверхневого різання і розміри канавки

| №  | Параметри поверхневого різання покритим електродом |                     |                              |               | Розміри канавки, мм |         | Прим. |
|----|--|---------------------|------------------------------|---------------|---------------------|---------|-------|
|    | Марка електроду, діаметр, мм                       | Сила струму дуги, А | Швидкість переміщення, мм/с. | Кут нахилу, ° | Ширина              | Глибина |       |
| 1  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 2  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 3  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 4  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 5  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 6  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 7  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 8  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 9  |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 10 |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 11 |  |                     |                              |               |                     |         |       |
| 12 |  |                     |                              |               |                     |         |       |

### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

1. Навести тему роботи, мету і основні теоретичні відомості.
2. Дати опис обладнання, яке було використано у роботі.
3. Описати порядок виконання лабораторної роботи.
4. Занести отримані результати дослідів у таблицю.
5. Побудувати графік залежності геометричних розмірів канавки при електродуговому струганні від марки електроду.
6. Побудувати графік залежності геометричних розмірів канавки від сили струму ріжучої електричної дуги.

7. Побудувати графіки залежності геометричних розмірів канавки від швидкості переміщення і кута нахилу електроду при дуговому різанні.
8. Зробити висновки з лабораторної роботи.

### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Сутність процесу електродугової обробки металів – різання і стругання (поверхневого різання).
2. Основні чинники, що визначають геометричні розміри канавки різання при електродуговому струганні.
3. Покриті електроди, що використовують для електродугового різання і стругання металу.
4. Вплив сили струму електричної ріжучої дуги на геометричні розміри канавки.
5. Вплив швидкості поверхневого різання металу і кута нахилу електроду на геометричні розміри канавки.
6. Основні переваги і недоліки електродугового способу розробки кромки тріщини.
7. Вплив застосування струменя стислого повітря на продуктивність електродугового різання і стругання.
8. Вплив параметрів електродугового поверхневого різання на глибину канавки різання.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### МЕХАНІЧНИЙ СПОСІБ РОЗРОБКИ КРОМОК ТРІЩИНИ

**Мета роботи:** вивчити спосіб і отримати практичні навички розробки кромки дефектів деталей та конструкцій механічною обробкою.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

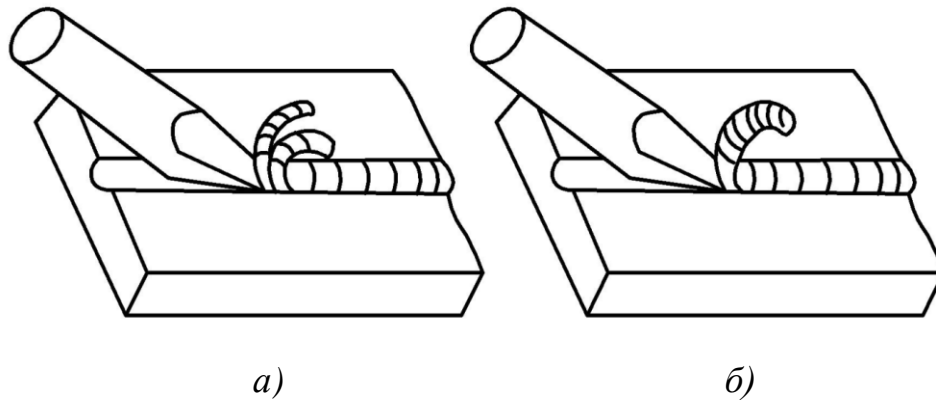
Механічну розробку тріщин під ремонтне зварювання необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечити наскрізний провар всього перерізу дефектного місця. При розробці ретельно контролюють напрямки розвитку тріщини для забезпечення її повного видалення.

При механічних способах розробки кромки тріщин як і при газотермічній обробці форма та розміри розробки повинні забезпечувати наскрізний провар для обраного методу зварювання при умові мінімізації кількості потрібного для утворення зварного з'єднання електродного (присадкового) металу. Останнє дозволяє понизити рівень зварювальних напружень і деформацій у ремонтному з'єднанні.

У ряді випадків ремонту зварюванням тріщин деталей і конструкцій, коли об'єм видалення металу в місці дефекту достатньо значний, доцільно замість розробки і зварювання тріщини видалити дефектну ділянку металу повністю і на її місце вварити вставку з металу, склад якого такий самий як у основного металу або близький до нього.

Найбільш простою формою розробки кромки тріщини є V - подібна форма розробки, яку найбільш доцільно виконувати механічним способом – вирубкою ручним електричним чи пневматичним зубилом (рис. 3.1). Для тріщин нескладної конфігурації, в якій відсутні різкі (малого радіуса) злами траєкторії розповсюдження тріщини, застосовують більш продуктивний спосіб механічної обробки – розробку кромки тріщини різанням абра-

звивними кругами. На кінцях тріщини насвердлюють отвори – так звані обмежувачі тріщин, які для покращення умов зварювання піддають зенкуванню (рис.3.2).



*а) роздвоєння стружки вказує на наявність тріщини;  
б) відсутність роздвоєння вказує на відсутність тріщини*  
Рисунок 3.1 - Механічна вирубка тріщини у металі зубилом

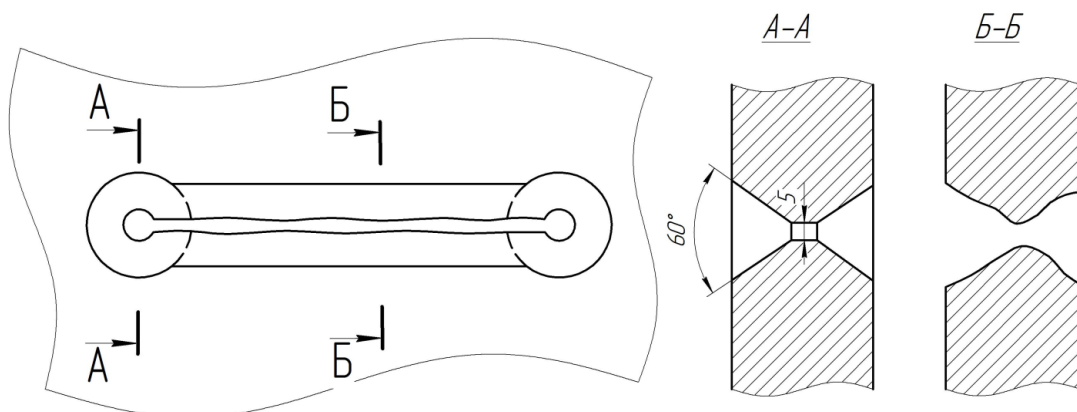
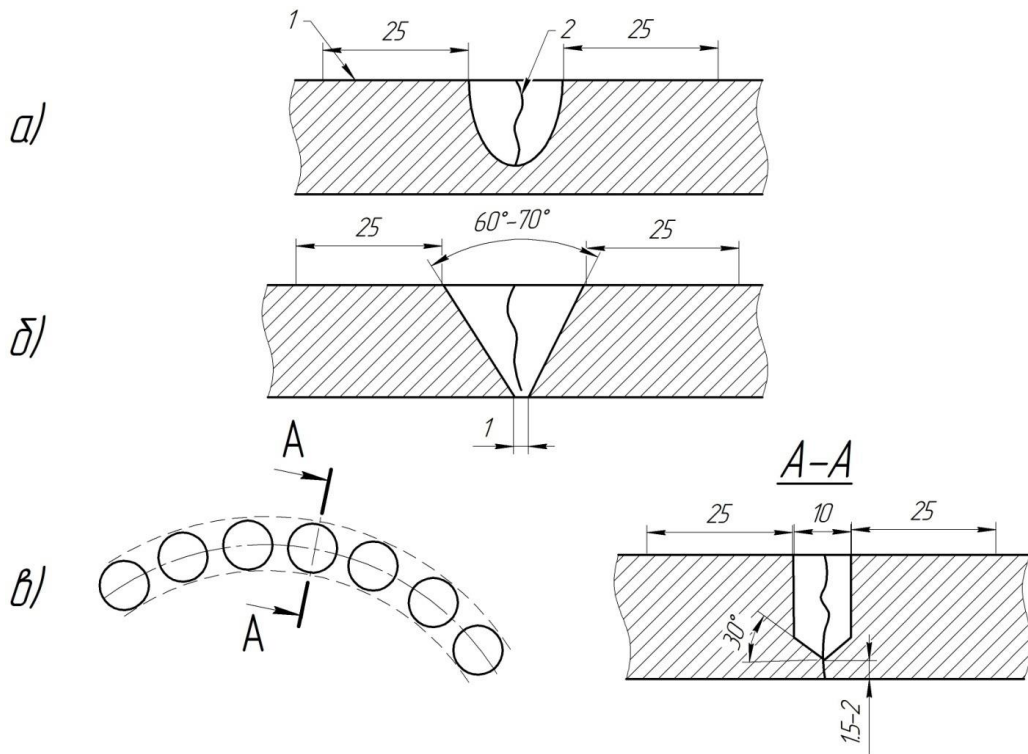


Рисунок 3.2 - Приклад механічної розробки кромки наскрізної тріщини

У випадку розробки кромки тріщин складної конфігурації або сітки тріщин механічна обробка, в багатьох випадках, є єдиним можливим способом обробки.

Розробку кромки тріщини розсвердленням отворів по її траєкторії показано на рис 3.3. Діаметр отворів вибирають в залежності від ширини

розробки кромки, яку необхідно отримати. Відстань між отворами призначають, виходячи з можливості електричної дуги розплавити проміжок металу між отворами при встановлених параметрах режиму зварювання. При зварюванні металу середньої і більшої товщини проміжок основного металу між отворами видаляють вирубкою зубилом. Після розсвердлення рекомендується залишати форму розробки по контуру свердла, щоб забезпечити кращі умови для повного провару кореня шва.



а) U - подібна форма розробки, газокисневе та електродугове стругання.

1 – зона очистки поверхні кромки; 2 – тріщина.

б) V – подібна форма розробки, механічна обробка;

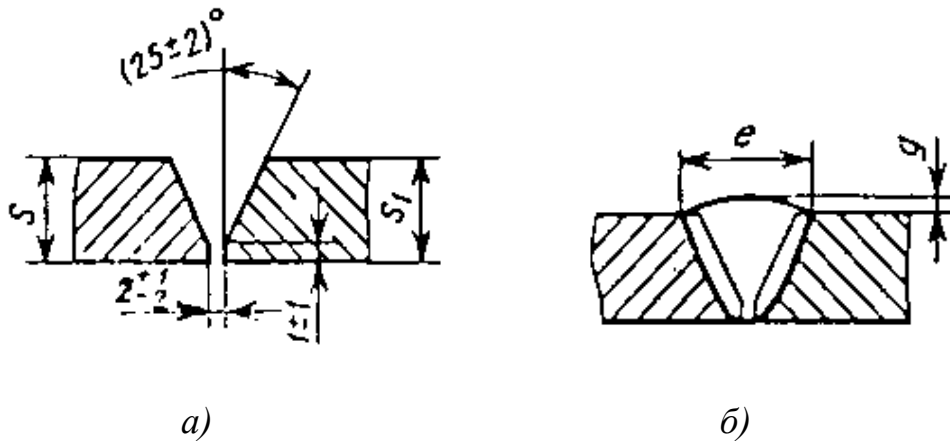
в) Розробка тріщини розсвердленням отворів.

Рисунок 3.3 - Форми і способи розробки кромки тріщин

При виборі розмірів конструктивних елементів розробки кромки ремонтних зварних з'єднань необхідно використовувати рекомендації встановлені ГОСТ 5264 – 80В щодо форми і розмірів розробки кромки в залежності від товщини металу, що зварюють, та способу зварювання. Прикла-

ди таких рекомендацій для ручного дугового зварювання покритим електродом наведені нижче (рис. 3.4, 3.5 і табл. 3.1, 3.2).

Застосування для очищення та виявлення тріщини зачистки поверхні абразивними кругами погіршує видимість тріщин, особливо тонких «волосяних» тріщин та розтріскування, а також може ініціювати їх розповсюдження, і тому не рекомендується.



а) розробка кромки; б) зварний шов

Рисунок 3.4 - Розробка кромки зі скосом з двох сторін. Конструктивні елементи

Таблиця 3.1 - Конструктивні елементи розробки кромки зі скосом з двох сторін, мм

| Умовне позначення зварного з'єднання | $s = s_1$    | $e$        |                 | $g$        |                 |
|--------------------------------------|--------------|------------|-----------------|------------|-----------------|
|                                      |              | Номінально | Межа відхилення | Номінально | Межа відхилення |
| С17                                  | Від 3 до 5   | 8          | ±2              | 0,5        | +1,5<br>-0,5    |
|                                      | Від 5 до 8   | 12         |                 |            |                 |
|                                      | Від 8 до 11  | 16         |                 |            |                 |
|                                      | Від 11 до 14 | 19         |                 |            |                 |

Основними перевагами механічних способів розробки кромки дефектів деталей та конструкцій під ремонтне зварювання є практично відсутність нагрівання металу під час обробки і його взаємодія з атмосферою, внаслідок чого залишаються незмінними хімічний склад і структура мета-



лу на кромках розробки. Основний недолік механічних способів розробки кромок тріщин є низька продуктивність процесу.

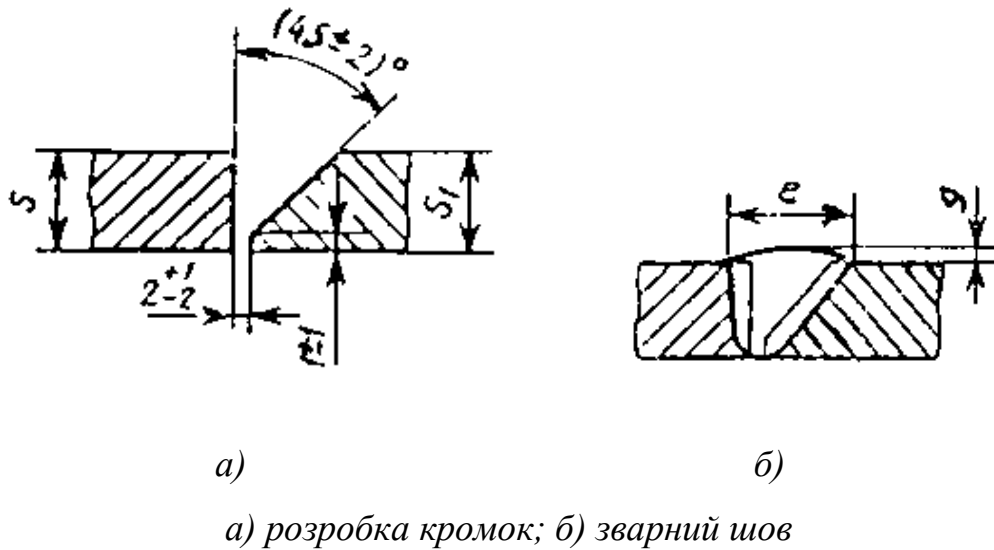


Рисунок 3.5 - Розробка кромки зі скосом з однієї сторони. Конструктивні елементи

Таблиця 3.2 - Конструктивні елементи розробки кромки зі скосом з однієї сторони, мм

| Умовне позначення зварного з'єднання | $s = s_1$    | $e$        |                 | $g$        |                 |
|--------------------------------------|--------------|------------|-----------------|------------|-----------------|
|                                      |              | Номінально | Межа відхилення | Номінально | Межа відхилення |
| С8                                   | Від 3 до 5   | 8          | +0.5            | 1          | ±0,5            |
|                                      | Від 5 до 8   | 12         | ±2              | 0.5        | ±1.5            |
|                                      | Від 8 до 11  | 16         |                 |            | -0,5            |
|                                      | Від 11 до 14 | 20         |                 |            | +2,0            |

### ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Електрозубило, кутова шліфувальна машина, дріль, свердла, штангенциркуль, металева лінійка, дослідні зразки з металу різної товщини, що імітують тріщини.

## **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. Ознайомитися з правилами і вимогами техніки безпеки при виконанні робіт з електродугової обробки металів.
2. Ознайомитися з принципом дії, технічними характеристиками, порядком роботи та правилами використання електричного інструменту, який буде використано у дослідах.
3. Обговорити і скласти разом з викладачем план проведення дослідів в лабораторній роботі.
4. Визначити форму і розміри розробки кромки тріщин металу різної товщини за умови їх наскрізного провару.
5. Виконати механічну розробку кромки тріщини на зразках різної товщини.

## **ВИМОГИ ДО ЗВІТУ**

1. Навести тему роботи, мету і основні теоретичні відомості.
2. Дати опис і технічні характеристики електричного інструменту, який було використано в роботі.
3. Описати порядок виконання лабораторної роботи.
4. Зробити висновки з лабораторної роботи.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Основні способи механічної підготовки дефектів до ремонтного зварювання.
2. Переваги і недоліки механічної обробки дефектів деталей і конструкцій під ремонт зварюванням.
3. Чинники, що визначають вибір форми і розмірів розробки кромки при зварюванні тріщин.
4. Сутність підготовки кромки тріщини розсвердленням отворів по

траєкторії її розповсюдження.

5. Вибір розмірів конструктивних елементів розробки кромки при зварюванні тріщин.

6. Особливості механічної розробки кромки наскрізних і не наскрізних тріщин.

7. Заходи для запобігання поширення тріщини під час механічної розробки її кромки.

8. Правила техніки безпеки при механічній обробці дефектів деталей і конструкцій під зварювання.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАВАРЮВАННЯ ТРІЩИН

**Мета роботи:** вивчити технологічні особливості і отримати практичні навички ремонтного зварювання тріщин.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Найбільш поширеним способом ремонту зварюванням є ручне дугове зварювання покритим електродом. Для зварювання використовують штучні електроди типу Э42А-Ф або Э50А-Ф (ГОСТ 9467—60), які забезпечують високі механічні властивості металу шва та високий опір утворенню гарячих тріщин, втомі та крихкому руйнуванню.

Основною вимогою до ремонтного зварювання тріщини є забезпечення гарантованого наскрізного провару тріщини. Непровар тріщини, що залишився після її зварювання, є сильним концентратором напружень, який обов'язково спровокує повторне утворення тріщин, особливо, при експлуатації деталі чи конструкції в умовах динамічних навантажень.

При зварюванні тріщини розробка її кромки необхідна у випадках, коли глибина тріщини перевищує провар, який можливий для обраного способу і параметрів режиму ремонтного зварювання.

Режимом зварювання називають сукупність основних факторів, які забезпечують одержання зварних швів заданих розмірів і форм при мінімальних затратах матеріалів, електроенергії та праці. Ці фактори називають елементами режиму зварювання. При ручному електродуговому зварюванні основні елементи режиму – діаметр електрода, величина зварювального струму, тип та марка електроду, напруга горіння дуги, рід та полярність струму, швидкість зварювання та положення шва в просторі.

Діаметр електрода вибирають в залежності від товщини металу, що зварюється та положення шва у просторі.

В таблиці 4.1 наведені значення діаметра електрода для зварювання стикових швів в нижньому положенні в залежності від товщини сталі.

Таблиця 4.1 Залежність між товщиною сталі, що зварюється та діаметром електрода

|                                      |     |   |   |     |     |      |       |
|--------------------------------------|-----|---|---|-----|-----|------|-------|
| Товщина сталі, що зварюється, мм     | 1.5 | 2 | 3 | 4-5 | 6-8 | 9-12 | 13-15 |
| Рекомендований діаметр електрода, мм | 1.6 | 2 | 3 | 3-4 | 4-5 | 4-6  | 5-6   |

При багат шаровому зварюванні перший шар зазвичай зварюють електродом діаметром не більше 4 мм для хорошого провару кореня основи шва.

Величина зварювального струму підбирається в залежності від діаметра електрода та положення шва в просторі. Величину зварювального струму можна встановити по формулі 4.1

$$I_{зв} = K d_{ел}, \quad (4.1)$$

де  $I_{зв}$  – величина зварювального струму, А;

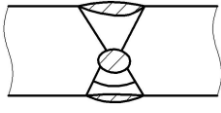

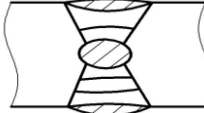
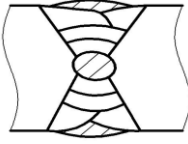
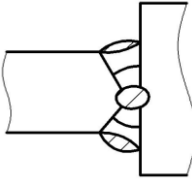
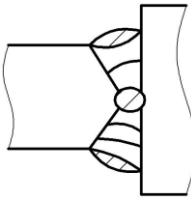
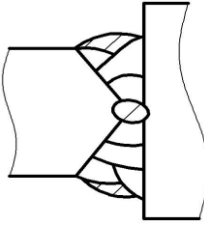
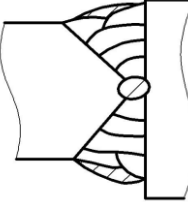
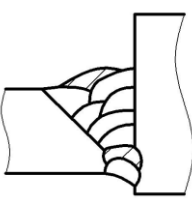
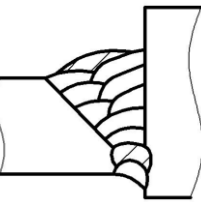
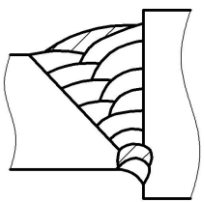
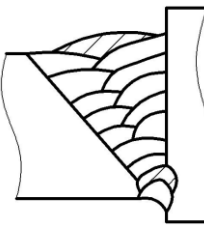
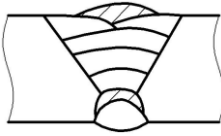
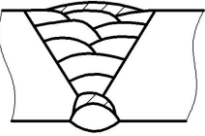
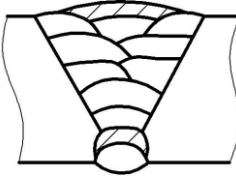
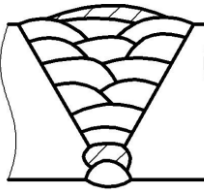
$d_{ел}$  – діаметр електрода, мм;

$K$  – коефіцієнт, що залежить від типу електрода і його діаметру, А/мм.

Вважається, що при зварюванні низьковуглецевих та низьколегованих сталей товсто покритими електродами діаметром 3-6 мм коефіцієнт  $K$  дорівнює 40-60 А/мм.

Залежність між кількістю шарів та валиків (проходів) у зварному шві в залежності від товщини листа і форми обробки крайок наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Кількість шарів і валиків (проходів) в зварному шві в залежності від товщини листа і форми обробки крайок

|           | $s=16$  | $s=20$   | $s=24$  | $s=30$  |
|-----------|---|--|---|---|
| X-подібна | $a=6$<br>$v=6$<br>   | $a=8$<br>$v=8$<br>    | $a=8$<br>$v=8$<br>    | $a=9$<br>$v=11$<br>    |
| K-подібна | $a=7$<br>$v=7$<br>  | $a=8$<br>$v=8$<br>   | $a=8$<br>$v=10$<br>  | $a=11$<br>$v=13$<br>  |
| У-подібна | $a=7$<br>$v=9$<br> | $a=8$<br>$v=11$<br> | $a=9$<br>$v=13$<br> | $a=10$<br>$v=15$<br> |
| V-подібна | $a=7$<br>$v=8$<br> | $a=8$<br>$v=12$<br> | $a=8$<br>$v=12$<br> | $a=9$<br>$v=15$<br>  |

Примітка:  $a$  - шари;  $v$  - проходи

Мала величина зварювального струму недоцільна, так як при цьому знижуються продуктивність і якість зварювання. Однак збільшення струму може визвати перегрів електроду під час зварювання. В цьому випадку метал електроду починає швидше плавитись і стікати в шов, створюючи в ньому надлишок наплавленого металу. Крім того, перегрів електроду може призвести до непровару у випадку попадання рідкого електродного металу на нерозплавлений основний метал.

Напруга на дузі при ручному електродуговому зварюванні змінюється в межах 18-30 В і залежить в основному від довжини дуги. Зварювання слід виконувати максимально короткою дугою (2-3 мм), напруга якої становить 18-20 В. Орієнтовно вважається, що довжина дуги повинна бути рівною діаметру електрода.

Рід і полярність струму вибирають в залежності від товщини металу, марки сталі, що зварюється, та марки електродного покриття. Тонкий метал і високолеговані сталі зварюють на постійному струмі оберненої полярності.

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей середньої та великої товщини широко використовується змінний струм, що дозволяє знизити витрати на зварювальне обладнання і витрати електроенергії в порівнянні зі зварюванням на постійному струмі.

Від елементів режиму зварювання залежать глибина провару і ширина шва. Наприклад, зі збільшенням струму глибина провару збільшується, а зі зменшенням знижується. Зменшення діаметра електрода без зміни величини зварювального струму призводить до збільшення глибини провару, і навпаки.

Глибина провару при зварюванні на змінному струмі на 15-20% менше, ніж на постійному струмі зворотної полярності. Провар знижується через зміни полярності, що призводить до зменшення виділення теплоти на основному металі в той період, коли основний метал служить анодом.

При зварюванні на постійному струмі прямої полярності ширина шва менша, ніж при зварюванні на постійному струмі зворотної полярності, а також в порівнянні зі зварюванням на перемінному струмі.

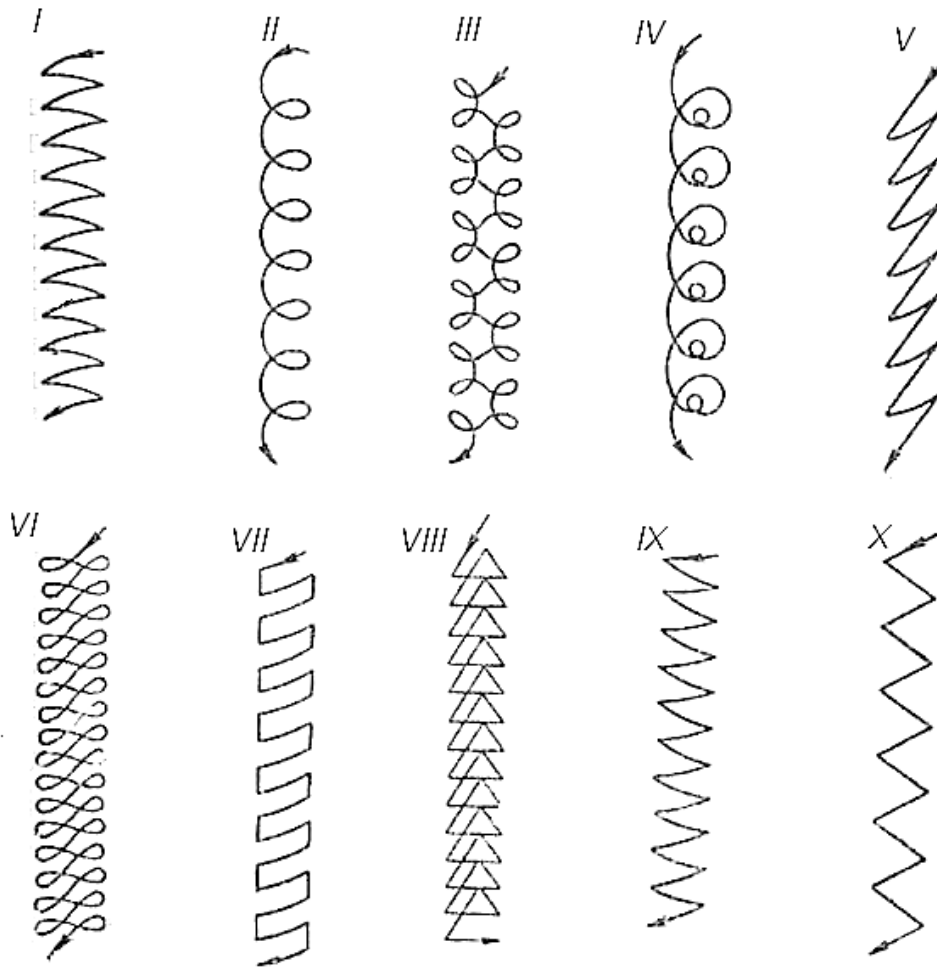
Поперечні коливальні рухи електродом сповільнюють охолодження наплавленого металу, полегшуючи вихід газів і шлаків, сприяють кращому прогріву кромки і отримання високоякісного шва. Поперечні рухи електроду надають з постійною частотою і амплітудою, поєднуючи з поступальним рухом електрода уздовж осі шва й осі електрода. Траєкторії коливання електрода можуть бути різними і визначаються формою, розмірами та положенням шва в просторі, а також навиками зварника. Деякі рухи електроду поперек шва показані на рис. 4.1 в положеннях I – X. В результаті коливальних рухів електрода виходять валики, ширина яких складає від двох до трьох діаметрів електрода.

При зварюванні виникають різні напруження, що призводять до деформацій. Боротьба з внутрішніми напруженнями і деформаціями є найважливішим завданням зварника. На практиці застосовуються різноманітні способи зменшення внутрішніх напружень і деформацій у зварних деталях можна розбити на три групи.

Способи зменшення напруг. До цих способів належать: зменшення маси наплавленого металу; виконання довгих швів зворотньоступінчастим способом і застосування багат шарових швів; пошарова їх проковка; застосування зворотної деформації.

Зменшення маси наплавленого металу на одиницю ваги конструкції досягається правильним конструюванням виробу, застосуванням і іншого матеріалу великих розмірів зі зменшенням числа місць з'єднання, скороченням перерізу швів за рахунок зменшення кута сколи кромки, використанням електродів з глибоким проплавленням і збільшенням зварювального струму.

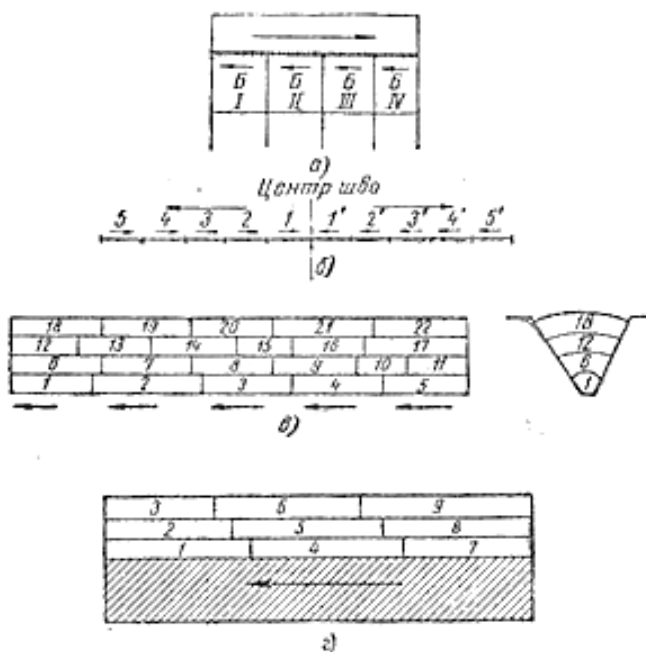




*I, V, IX та X «змійкою», II та IV – «спіраллю», II та VI – «вісіркою», VII – «прямокутником», VIII – «трикутником»*  
 Рисунок 4.1 – Рух електроду поперек шва

Різні варіанти виконання довгих швів зворотньо-ступінчатим способом показані на рис. 4.2.

В деяких випадках, при ремонті важконавантажених деталей і конструкцій з металу товщиною більше 10 мм виконують обмежувачі тріщини. Це відбувається наступним чином - на кінцях тріщини засвердлюють отвори діаметром 20 – 30мм, в які встановлюють циліндричні пробки, виготовлені по діаметру отвору з такого ж металу, що і основний метал. Встановлені пробки зафіксують прихватками.



*а – зварювання тонких листів, б – зварювання довгих швів, в – багатошарове зварювання, г – каскадне зварювання.*

Рисунок 4.2 – Зворотньоступінчатий порядок накладення швів.

Після прихватки пробок заварюють тріщину, розпочинаючи та закінчуючи шов на пробках. Закінчують ремонтне зварювання виконанням кільцевих швів, що з'єднують пробки з основним металом. Кільцеві шви залежно від товщини металу можуть виконуватися як з розробкою кромки шва, так і без неї.

## ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Джерело живлення ВДГ-301, електроди для дугового зварювання, штангенциркуль, місцева витяжна вентиляція, пластини, підготовлені до зварювання.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з технікою безпеки при роботі.
2. Ознайомитися з обладнанням, яке буде використовуватись при проведенні експерименту.
3. Скласти план експерименту.
4. Визначити допустимий діапазон режимних параметрів.
5. Виконати на обраних режимах ручне дугове зварювання покритим електродом зразків металу різної товщини з різними розробками кромки.
6. Провести зварювання змінюючи коливальні рухи та способи накладання швів.
7. Порівняти шви зварені різними способами.
8. Провести візуальний контроль зварених швів і встановити наявність або відсутність наскрізного провару металу. В останньому випадку виконати три вимірювання величини непровару шва. Занести отримані результати дослідів у таблицю 4.3.
9. Зробити висновки.

Таблиця 4.3 - Розміри розробки кромки і величина непровару шва

| №  | Параметри режиму зварювання покритим електродом |                       |                           | Розміри розробки, мм |         | Величина непровару, мм | Прим. |
|----|---|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------|------------------------|-------|
|    | Марка, діаметр, мм                              | Сила струму, <i>A</i> | Напруга на дузі, <i>B</i> | Ширина               | Глибина |                        |       |
| 1  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 2  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 3  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 4  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 5  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 6  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 7  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 8  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 9  |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 10 |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 11 |   |                       |                           |                      |         |                        |       |
| 12 |   |                       |                           |                      |         |                        |       |

### ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

1. Навести тему та мету роботи.
2. Дати опис обладнання, яке було використано у роботі.
3. Описати порядок виконання роботи.
4. Занести отримані результати дослідів у таблицю.
5. Порівняти геометричні розміри розробки кромки і величину непровару зварного шва.
6. Порівняти між собою шви зварені на різних режимах, різними електродами, при різних коливаннях, при різному порядку накладення швів.
7. Навести висновки.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть технологічні параметри зварювання.
2. Перелічіть геометричні параметри зварного шва.
3. Принцип вибору марки та діаметру електроду для зварювання.
4. Принцип вибору величини зварювального струму.
5. На що впливає величина струму?
6. Перерахуйте рухи електроду поперек шва. Для чого їх здійснюють?
7. Способи зменшення напружень.
8. Способи виконання обмежувачів тріщин.
9. Правила техніки безпеки при ремонтному зварюванні.

## Література

1. *Черняк В.С., Воцанов К.П.* Справочник молодого сварщика. – М.: Профтехиздат, 1963. – 528 с.
2. *Курдюмов В.Я., Рязанов В.П.* Ремонт строительніх машин методами сварки и наплавки. – М. Стройиздат, 1973. – 232 с.
3. *ГОСТ 5264 – 80*