МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ (МОДУЛЬ 2). ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальностей G9 «Прикладна механіка»,
G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями)»

Київ 2025

УБК 620.1
М34

Укладачі: В.О. Шаленко, канд. техн. наук, доцент;
А.Г. Поліщук, канд. техн. наук;
А.А. Маслюк, асистент

Рецензент Д.А. Паламарчук, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск К.І. Почка, д-р техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри професійної освіти, протокол № 18 від 17 червня 2025 року.

В авторській редакції.

М34 **Матеріалознавство** і технологія конструкційних матеріалів (модуль 2). Зварювальне виробництво: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.: В.О. Шаленко, А.Г. Поліщук, А.А. Маслюк. – Київ: ЦП «Компринт», 2025. – 72 с.

Містять загальні положення основ зварювального виробництва, короткі теоретичні відомості для виконання лабораторних робіт, порядок їх виконання, а також контрольні запитання.

Призначено для студентів освітнього рівня бакалавр спеціальностей G9 «Прикладна механіка», G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями)».

© КНУБА, 2025

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ……..…4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Основи техніки безпеки при зварюванні і різанні металів……...……..5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Джерела живлення зварювальної дуги….20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Ручне дугове зварювання……...…27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Визначення основних технологічних параметрів при ручному дуговому зварюванні ……33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. Напівавтоматичне і автоматичне дугове зварювання……37
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. Мікроструктурний аналіз зварного з’єднання……45
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7. Контактне електричне зварювання…...…49
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8. Газове зварювання…….....57
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9. Газове і плазмове різання металів…….66
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ……..71

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Виконання передбачених у методичних вказівках лабораторних робіт має за мету поглибити знання і вміння студентів, майбутніх фахівців інженер-механіків, які навчаються за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», у галузі основ зварювального виробництва для вивчення дисципліни «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів» (модуль 2 «Технологія конструкційних матеріалів»).

Зварювання є одним із основних технологічних процесів, що застосовується в будівництві, будівельному машинобудуванні і ремонті будівельної техніки.

Дисципліна «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів» (модуль 2 «Технологія конструкційних матеріалів») має на меті навчити майбутніх спеціалістів правильно орієнтуватися під час вибору методу зварювання та інших технологічних процесів виготовлення деталей і конструкцій.

Номенклатура будівельних робіт охоплює найбільш розповсюджені види зварювання. Лабораторні роботи виконують в лабораторіях матеріалознавства і зварювання, які мають усе необхідне обладнання і прилади.

Лабораторні роботи починаються із вивчення охорони праці і техніки безпеки при зварюванні і різанні металів.

Методичні вказівки написано за одною схемою. У кожній з них вказано мету роботи, перелік обладнання і матеріалів, стислі теоретичні відомості, хід роботи і контрольні запитання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1
Основи техніки безпеки при зварюванні і різанні металів

Мета роботи: засвоїти основні можливі небезпечні і шкідливі фактори при зварювальних роботах і способи захисту від їх дії.

1. Основні теоретичні положення

Основні можливі небезпечні і шкідливі фактори, що викликають травматизм при зварюванні та вогневому різанні металів:

Ураження електричним струмом може бути викликано доторканням до неізольованих струмопровідних частин електричного ланцюга, які знаходяться під напругою вище 24 В (рис. 1.1). Струм, що протікає по людському організму, визначається залежністю:

$$I_{лд} = \frac{U_м}{R_{лд} + R_{шк}} \qquad (1.1)$$

де $U_м$ – електрична напруга, В; $R_{лд}$ – опір людського організму, Ом; $R_{шк}$ – перехідний опір шкіряної поверхні людини, Ом.

а ***б***

Рис. 1.1. Схеми дотику до двопровідної мережі:
а – однополюсний дотик; *б* – двополюсний дотик

Згідно правил улаштування електроустановок розрізняють дві основні схеми дотику людини до струмопровідних частин електроустановок та електромереж:

− ***прямий дотик*** − це електричний контакт людей або тварин зі струмопровідними частинами, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань;

− ***непрямий дотик*** − це електричний контакт людей або тварин з відкритою провідною частиною (корпусом електроустановок або

конструктивним елементом електромереж), яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

В однофазних електроустановках змінного струму і електромережах постійного струму можуть бути два види прямого дотику:

− ***однополюсний прямий дотик*** − це дотик людини, що стоїть на провідній основі (землі), до одного полюса мережі;

− ***двополюсний прямий дотик*** − це дотик людини до двох полюсів мережі.

Найбільш небезпечним є випадок двополюсного прямого дотику через те, що у цьому випадку сила $I_{лд}$ матиме найбільше значення, бо опір кола людини буде мінімальним (ліва рука – права рука) і струм, при цьому протікатиме за найбільш небезпечним шляхом.

Величини опорів $R_{лд}$ і $R_{шк}$ дуже непостійні і різко знижуються, якщо людина втомилася, чи знаходиться в нервовому або нетверезому стані, а також при вологій поверхні тіла та ураженнях шкіри. Струм силою 0,03…0,04 А викликає болісні відчуття та різке скорочення м’язів. Дія струму силою 0,1 А та більше може привести до смертельного випадку.

Найбільш небезпечний промисловий змінний струм частотою 50...60 Гц. При встановленні граничних факторів безпеки орієнтуватися слід не на безпечну силу струму, а на безпечну напругу (36 В – для сухих; 12 В – для вологих приміщень).

- ***Шкідлива дія променевої енергії*** в значній мірі проявляється при зварюванні відкритою дугою в захисних газах. Електрична дуга - потужне джерело яскравого (видимого) світла, а також невидимих ультрафіолетових та інфрачервоних променів. Вплив дуги на незахищені очі впродовж 20 с з відстані до 1 м може викликати сильний біль, слізливість та світлобоязнь. Опромінювання дугою шкіряної поверхні людини впродовж 60...180 с викликає (аналогічно тривалому впливу сонця) опік. Шкідлива дія променів дуги розповсюджується в радіусі до 10 м, а потім суттєво послаблюється. Вплив променевої енергії газового полум'я значно слабше, однак виконувати газове зварювання (різання) без захисних окулярів не дозволяється.

- ***Виділення шкідливих аерозолів*** (розчинених в повітрі частинок металів, мінералів, пилу та ін.), ***парів та газів*** при зварюванні відбувається в результаті фізико-хімічних процесів при плавленні та

випаровуванні компонентів покриття електродів, зварювальних флюсів, а також за рахунок комбінації захисних газів, що використовуються для зварювання і різання металів під дією високої температури. При дуговому зварюванні вуглецевої сталі електродами з товстим покриттям виділяється значна кількість аерозолів, які в основному складаються із оксидів заліза та марганцю, двоокису кремнію, фтористих сполук.

Зварювання під флюсом, який містить плавиковий шпат, супроводжується виділенням фтористих сполук. При зварюванні в середовищі аргону алюмінієвих сплавів електродом, що не плавиться, спостерігається значне виділення озону. При зварюванні в середовищі вуглекислого газу і при кисневому різанні виділяються CO, CO_2, оксиди заліза та інші гази. Найбільш шкідливими є оксиди марганцю, кремнію, азоту та газоподібні фтористі сполуки. При зварюванні кольорових металів особливо шкідливі випаровування цинку, свинцю і кадмію.

- ***Опіки*** при зварюванні і різанні можливі від бризок розплавленого металу і шлаку, які можуть потрапити в складки одягу, кишені, чоботи, черевики та погано захищені ділянки тіла зварювальника. Опіки та забиті місця часто являються результатом падіння нагрітих частин конструкцій при недостатній надійності їх закріплення в процесі зварювання або різання.

- ***Вибухи*** можуть виникнути при неправильному поводженні з ацетиленовими генераторами, карбідом кальцію, балонами для стислих газів, а також при зварюванні тари, що використовується для зберігання горючих рідин і посудин, які знаходяться під тиском.

Пожежі частіше за все виникають від запалення горючих матеріалів, які можуть бути поблизу місць виробництва зварювальних робіт, а також у випадках наявності дефектів електричної проводки.

Також серед основних можливих небезпечних і шкідливих факторів, що викликають травматизм при зварюванні та вогневому різанні металів є ***дія високої температури*** та ***контактна ударна дія деталей значної маси***.

Кожний зварник допускається до роботи тільки після ***проходження настанов*** по охороні праці і техніки безпеки на робочому місці.

Основи техніки безпеки при електрозварюванні.

1. До електрозварювальних робіт допускаються робітники, що досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та навчання за встановленою програмою і отримали свідоцтво на дозвіл виробництва робіт. Жінки допускаються до ручного дугового зварювання тільки на відкритих майданчиках.

2. Кожний електрозварник ***допускається до роботи*** тільки після проходження вступних (загальних) ***настанов по охороні праці*** і настанов з техніки безпеки на робочому місці. Наступні настанови проводяться один раз на три місяця. Проведення настанов реєструється в спеціальному журналі. Знання правил техніки безпеки перевіряється щорічно.

3. Джерелами зварювального струму можуть бути тільки однопостові трансформатори, випрямлячі і генератори, підключені до електричної мережі за допомогою лускових пристроїв. Здійснювати живлення зварної дуги безпосередньо від мережі забороняється.

4. Розміщення зварювального устаткування повинно забезпечити вільний доступ до нього. Всі відкриті частини зварювальної установки, які знаходяться під напругою мережі зварювального струму, повинні бути надійно захищені.

5. Для захисту від ураження електричним струмом необхідні:

- надійна ізоляція всіх зовнішніх провідників джерела живлення;
- заземлення зварювальних агрегатів і трансформаторів;
- застосування рубильників і перемикачів закритого типу;
- надійна ізоляція електродотримача, проводки, пристроїв і держаків перемикачів;
- неушкоджений та сухий спецодяг та рукавиці.

Велика увага повинна бути приділена заземленню електричних установок і машин з метою зменшення струму, що може пройти через людський організм. ***Заземленням*** називається захід по створенню контакту між корпусом електроустановки і землею, з метою захисту обслуговуючого персоналу та електроустановок. Більша частина струму буде проходити крізь ті дільниці, де менший опір.

В зв'язку з можливим пробоєм витків обмоток, корпуси зварних генераторів, випрямлячів і трансформаторів повинні бути надійно зв'язані провідниками з природнім або штучним заземленням. В якості природних заземлювачів можуть бути використані будівельні і технологічні металічні конструкції, металічні трубопроводи водопостачання, каналізації, теплофікації та інші (крім трубопроводів для горючих та вибухонебезпечних речовин).

Для штучного заземлення використовують стальний кутник розмірами від 50×50×4 мм, довжиною 2,5...3 м, який заглиблюють в землю з таким розрахунком, щоб верхній кінець заземлювача знаходився нижче рівня ґрунту на 0,5...0,6 м. Приєднання до заземлювача здійснюється за допомогою мідного дроту, мінімальна площа поперечного перерізу складає 6 мм^2 або стального з мінімальною площею перерізу 12 мм^2 (рис. 1.2).

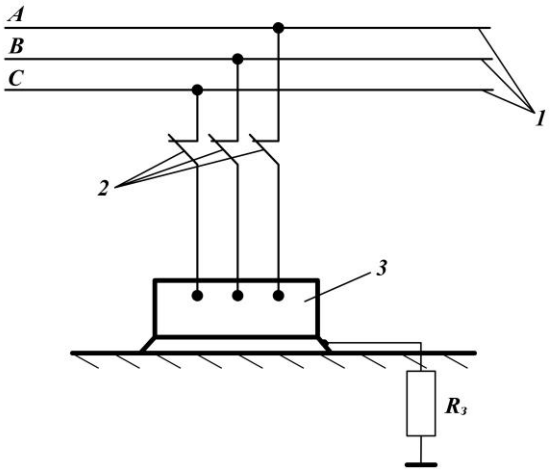


Рис. 1.2. Схема захисного заземлення електроустановки:
1 – магістраль живлення електроустановки; 2 – контакти електричного вимикача;
3 – електрична установка; $R_з$ – електричний опір захисного заземлення

Вторинну обмотку трансформатора (для попередження пробою на неї первинної напруги) заземлюють разом з корпусом.

Вимірюють опір заземлюючих пристроїв не рідше одного разу на рік.

При ураженні електричним струмом необхідно: негайно вимкнути струм первинного ланцюга, не торкаючись постраждалого, забезпечити доступ до нього свіжого повітря, викликати лікаря, зробити штучне дихання.

6. Для запобігання шкідливому впливу зварювальної дуги і розплавленого металу (опіки), електрозварник повинен працювати, використовуючи захисний щиток, маску або шолом із спеціальними

світлофільтрами, в брезентовому костюмі і брезентових рукавицях. Брюки і куртку носять навипуск, кишені повинні бути захищені клапанами, черевики зашнуровані. Світлофільтри вибирають в залежності від сили струму. Розмір їх 121×69 мм. Світлофільтри слід прикривати прозорим склом для захисту від бризок металу. При зварюванні в захисних газах застосовують більш темні світлофільтри. Для захисту очей зварника при контактному зварюванні можна застосовувати окуляри з простим склом. При зварюванні під флюсом зварювальник повинен використовувати окуляри з прозорими скельцями, щоб при зачистці швів захистити очі від пошкодження частинками шлакової корки.

7. При зварюванні в закритих приміщеннях робочі місця зварювальників повинні бути відокремлені екранами (ширмами). На відкритих майданчиках при роботі декількох зварювальників або в місцях, де працюють і пересуваються інші робітники захисні екрани також повинні застосовуватись.

Захист від промінів електричної дуги робітників інших спеціальностей, які знаходяться в зоні зварювання, відбувається переносними щитками і шоломами. На постійному місці виконання зварювальних робіт необхідно встановлювати стаціонарні кабіни. Вільна площина кабін повинна бути від 3 м^2. Захисні екрани повинні не досягати рівня підлоги на 0,3 м

8. Для видалення газів та аерозолів і, таким чином, доведення їх до гранично допустимих концентрацій, при виробництві зварювальних робіт в закритих приміщеннях необхідно передбачити, згідно діючим санітарним нормам, загальну припливно-витяжну вентиляцію, що може забезпечити обмін повітря, з розрахунку на 1кг розплавлених електродів або дроту в об’ємах від 2000 до 14000 м^3 в залежності від виду зварювання:

- при ручному дуговому зварюванні сталевими покритими електродами в залежності від виду покриття – 2000…8000 м^3;
- при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей: в середовищі вуглекислого газу – 2000 м^3; під плавленим флюсом – 40…4000 м^3;
- при зварюванні алюмінію та його сплавів в захисних газах електродами, що плавляться – 3800...14000 м^3;
- при ручному дуговому зварюванні міді та її сплавів – 13000 м^3.

При роботі в обмеженому просторі необхідно забезпечувати повітрообмін в об'ємі не менш як 2000 $м^3$ на один зварний піст. Слід також застосовувати маски з примусовим подаванням повітря по шлангу в зону дихання зварювальника.

В зимовий час припливна вентиляція повинна забезпечувати подачу в приміщення підігрітого повітря.

9. Робоче місце електрозварника ***повинно бути*** добре освітленим. Якщо зварювальник працює в середині зварного виробу, необхідно передбачати штучне освітлення переносними лампами з напругою не більше 12 В.

При роботі просто неба робоче місце зварювальника повинно бути захищеним від атмосферних опадів. Для виконання робіт в положенні "сидячі" або "лежачі" необхідно передбачити спеціальні килимки.

10. Електрозварювання і різання резервуарів, що містили горючі та вибухонебезпечні рідини і гази, допускається тільки після їх ретельного зачищення і пропарювання. В роботі повинні приймати участь не менше двох робітників, з яких один знаходиться зовні резервуара.

11. При роботі в особливо небезпечних умовах (в середині металевих ємностей, в колодязях, тунелях, котлах та інші) слід застосовувати електрозварювальне обладнання з пристроєм автоматичного вимкнення напруги холостого ходу і обмеження її до 12 В з витримкою часу не більш 0,5 с.

Електрозварники повинні забезпечуватися гумовими килимками з підкладкою, гумовими шоломами, спеціальним діелектричним взуттям і рукавичками.

12. При електрошлаковому зварюванні можливі викиди рідкого металу і шлаку, в зв'язку з їх великими об'ємами. Необхідно суворо контролювати їх рівень металу і шлаку в зварній ванні і слідкувати за станом охолоджуючої води.

13.Перед початком роботи електрозварник ***зобов'язаний***:

- перевірити ізоляцію зварювальних електропроводів і електродотримача, наявність і надійність заземлення агрегатів, а також переконатися у відсутності легкозаймистих речовин на робочому місці;

- одягнути спецодяг: куртку, брюки, черевики, головний убір; при стельовому зварюванні – додатково азбестові або брезентові нарукавники, щільно зав'язавши їх біля кистей рук; при зварюванні кольорових металів і сплавів, які містять цинк, мідь, свинець використовувати респіратори з хімічним фільтром;
- перевірити неушкодженість захисного щитка, маски або шолома; протерти затемнене скло;
- прибрати з робочого місця сторонні предмети і установити захисні екрани.

14.Під час роботи електрозварник ***зобов'язаний***:

- перед запалюванням дуги попередити оточуючих сигналом "Очі!";
- під час коротких перерв в роботі не залишати на робочому місці електродотримач, а встановлювати його на спеціальну підставку або підвіску;
- при роботі на дерев'яній підлозі чи підмостях покривати підлогу або настил сталевими або азбестовими листами;
- при одночасному зварюванні на різних рівнях передбачати огороджувальні пристрої – тенти, глухі настили та інше для захисту від бризок металу. Огарки збирати в спеціальні ящики.

15.Електрозварнику ***забороняється***:

- працювати без каски, спецодягу і інших захисних засобів;
- приступати до роботи при ушкодженій зварювальній апаратурі;
- виконувати зварювання посудин, які знаходяться під тиском або містять в собі горючі речовини;
- ремонтувати зварювальне обладнання, це повинен виконувати електромонтер.

16.По закінченні роботи зварювальник ***зобов'язаний***:

- відключити зварювальну апаратуру від джерела живлення, змотати зварювальні електропроводи і скласти їх в спеціально відведені місця;
- навести порядок на робочому місці, прибрати захисні пристосування і інструмент;
- сповістити майстра або виконроба про всі помічені недоліки.

Основи техніки безпеки при газовому зварюванні і різанні металів.

1. До виконання робіт по газовому зварюванню (різанню) ***допускаються*** робітники, які досягли 18-річного віку та пройшли медичне обстеження і навчання по встановленій програмі, здали іспит та отримали посвідчення встановленого зразка.

2. Перед тим, ***як приступити до роботи*** на новому підприємстві або при зміненні умов праці газозварники (газорізники) повинні пройти вступні (загальні) ***настанови по охороні праці***, а також настанови по техніці безпеки ка робочому місці. Повторні настанови повинні проводитися один раз на три місяця. Проведення настанов реєструється в спеціальному журналі. Знання робітниками правил техніки безпеки перевіряється щорічно.

3. Газозварник повинен ***знати***:

- правила безпечного зварювання і різання металів;
- основні властивості, засоби та умови отримання і зберігання газів, що застосовуються;
- устрій, правила експлуатації, транспортування і зберігання газових балонів;
- правила користування редукторами і манометрами;
- устрій і правила безпечної експлуатації газових генераторів;
- основні вимоги протипожежної безпеки.

4. Робоче місце зварника повинно бути достатньо освітленим, чистим і впорядкованим та розташовуватися на відстані не менше 10 м від відкритого вогню або від вогненебезпечних матеріалів.

Для видалення шкідливих газів і пилу при роботі в закритих приміщеннях, що виділяються при зварюванні, різанні та наплавленні, встановлюються місцеві витяжні пристрої з продуктивністю від 1700 до 2500 м^3/год:

- 1700...2500 м^3/год від постійних постів газополуменевої обробки;
- 300 м^3/год від 1 м^2 площі секції секційних столів машинного різання;
- 250…500 м^3/год від 1 мм товщини різа на постах киснево-флюсового різання.

5. При газовому зварюванні і різанні ***необхідно працювати в захисних окулярах*** зі спеціальними світлофільтрами. Окуляри повинні щільно прилягати до обличчя для запобігання травмам очей. Костюм зварювальника виробляється із брезентової тканини з комбінованим просочуванням. Одяг повинен бути неушкодженим, сухим, не промокати.

6. Якщо в матеріалі, що зварюється, є цинк, мідь, свинець або інші метали, що утворюють шкідливі гази, зварювальник повинен ***використовувати протигаз або респіратор***.

7. При роботі з газогенераторами:

- для відкривання барабанів з карбідом кальцію необхідно застосовувати спеціальний ніж. На місце наноситься шар тавоту товщиною 2...3 мм. Якщо немає спеціального ножа, можливо застосовувати латунне рубило і дерев'яний молоток;
- до завантаження карбіду кальцію в ящик газогенератора необхідно його просіяти, карбідний пил і дріб'язок зібрати в герметичну тару і здати на склад. Роботу слід виконувати в захисних окулярах і респіраторі;
- необхідно застосовувати карбід кальцію тільки тієї грануляції, яка зазначена в паспорті газогенератора (10…60 мм). Використовувати гранули діаметром менше 2...5 мм – забороняється;
- ящик завантажувати тільки до половини;
- воду в генератор і водяний затвор необхідно заливати точно до встановленого рівня

8. При роботі з газовими балонами і редукторами:

- балони зберігати в окремому приміщенні тільки в вертикальному стані, в осередках, що утворені спеціальними стійками; порожні балони зберігати окремо від наповнених;
- вентилі балонів повинні бути закритими запобіжними ковпаками; зберігати балони без ковпаків забороняється;
- транспортування балонів сумісно з горюче-змащувальними матеріалами, іншими газами, карбідом кальцію не допускається;
- знімати ковпаки і відкривати вентилі балонів за допомогою молотка, зубила та інших засобів, що можуть викликати виникнення іскри, забороняється;

- балони не можна піддавати ударам, поштовхам, забрудненню мастилом або жиром;
- слід оберігати балони від дії прямих сонячних променів;
- робота з балонами, що мають тріщини, вм'ятини, пошкодження штуцера і вентиля, забороняється;
- при самозайманні редуктора необхідно захищеною рукою швидко закрити вентиль балона;
- оперувати різьбовими з'єднаннями редуктора і балона необхідно тільки при закритому вентилі балона.

Перед приєднанням редуктора до кисневого балона необхідно:

- переконатися в неушкодженості балона і редуктора;
- продути запірний вентиль киснем, відвернувши його на чверть оберту не більш як на 1...2 с, при цьому робітник повинен знаходитися з протилежного боку від струменя газу.

При приєднанні пальника до апаратури необхідно використовувати неушкоджені шланги. їх ремонт за допомогою ізолюючої стрічки та інших засобів забороняється. При необхідності пошкоджені місця шлангів повинні бути вирізані, а частини шлангу, що залишилися, треба з'єднати за допомогою двостороннього ніпеля та хомутів. Використовувати дріт для з'єднання шлангів забороняється. Гранична довжина шлангів – 20 м.

9. Перед початком роботи газозварник (газорізник) зобов'язаний:

- оглянути робоче місце і прибрати всі сторонні предмети, які можуть заважати;
- перевірити і підготовити до роботи апаратуру, інструмент, пристрої;
- перевірити надійність заготовок, що оброблюються, виключити можливість падіння частин заготовок, що відокремлюються;
- поставити біля робочого місця ємкість з водою для охолодження мундштуків пальників (різаків);
- надійно закріпити балон з киснем, усунути можливість падіння на нього предметів зверху, попадання жирів і мастила на балон, редуктор і шланги;
- шланги, перед приєднанням до пальника або різака, продути стислим газом;

- шланги приєднувати тільки за допомогою стягуючих хомутів; заборонено використовувати для цього дріт.

10. Під час роботи газозварник ***зобов'язаний***:

- в разі виникнення ушкоджень апаратури, приладів необхідно припинити роботу і сповістити про це майстра або механіка. Усувати самостійно ушкодження в газогенераторах, редукторах і балонах забороняється;
- перевіряти рівень води в водяному затворі не менше двох разів за зміну;
- не допускати: зворотних ударів, які можуть виникнути при падінні тиску кисню нижче припустимої межі (50 КПа); наближення мундштука до заготівлі на малу відстань і, як наслідок, зменшення швидкості витікання газів; надмірного нагрівання мундштука і трубки кінцевника різака;
- забруднення мундштука частинками розплавленого металу.
- при виникненні зворотного удару перекрити вентиль газу, а потім кисню і перевірити рівень води в водяному затворі генератора;
- при перервах в роботі гасити полум'я пальника (різака);
- випускати з рук запалений різак забороняється.

11. Під час роботи газозварнику ***забороняється:***

- рухатися з запаленим пальником за межами робочого місця;
- розігрівати замерзлі шланги і водяні затвори вогнем;
- виконувати роботи з ємностями і трубопроводами, шо знаходяться під тиском;
- застосовувати для кисню редуктори і шланги, які використовувалися раніше для роботи зі зрідженим газом;
- залишати без догляду газогенератор;
- вести роботи декількома пальниками від одного генератора;
- розводити вогонь, палити і запалювати сірники ближче відстані в 10 м від газогенератора і ацетиленових балонів;
- використовувати редуктори без манометрів або з пошкодженими манометрами;
- виконувати зварювання і різання в середині закритих резервуарів при відсутності надійної вентиляції;
- виконувати одночасно електрозварювання і газозварювання в середині закритих металоконструкцій і котлованів.

12. По закінченні роботи газозварник ***зобов'язаний***:

- прибрати своє робоче місце і перевірити відсутність вогню на місці виконання робіт;
- закрити вентиль кисневого балона, перевірити подавання ацетилену або іншого горючого газу, випустити газ зі шлангу, прибрати балони в призначене для зберігання місце;
- очистити і укласти в призначене для зберігання місце інструменти, пристосування і засоби індивідуального захисту;
- вимити обличчя і руки з милом, а при можливості прийняти душ;
- сповістити майстра про всі помічені під час роботи ушкодженості і дефекти.

Загальні положення пожежної безпеки при виконанні зварювальних робіт.

1. При розробці заходів пожежної безпеки будівель і споруд, які будуються, необхідно керуватися Державними стандартами України: "Пожежна безпека", "Правила пожежної безпеки при виробництві будівельно-монтажних робіт" та іншими нормативними документами.

2. Причинами пожежі при зварювальних роботах може бути іскри чи краплі розплавленого металу і шлаку, необережне поводження з полум'ям пальників та наявність палива в зоні робочого місця зварювальника. Небезпеку пожежі особливо треба враховувати при ремонтних роботах у непристосованих для зварювання приміщеннях.

3. Щоб запобігти пожежі необхідно дотримуватися таких протипожежних заходів:

- не можна зберігати поблизу місця зварювання вогненебезпечні чи легкозаймисті матеріали і виконувати зварювальні роботи у приміщеннях, забруднених ганчірками, папером, відходами деревини та інше;
- забороняється користуватися одягом і рукавицями зі слідами мастил, жирів, бензину, гасу і інших пальних рідин;
- виконувати зварювання і різання фарбованих масляними фарбами конструкцій до їх повного висихання;

- забороняється виконувати зварювання апаратів, які перебувають під електричною напругою і судин, які перебувають під тиском;
- не можна проводити без спеціальної підготовки зварювання і різання ємностей з-під рідкого палива;
- при виконання тимчасових зварювальних робіт дерев'яні поли, настили і помости помешкань повинні бути захищені від запалення листами азбесту чи заліза;
- потрібно постійно стежити за справним станом протипожежних пристроїв – вогнегасників, скринь із піском, лопат, відер, пожежних рукавів та інше, а також утримувати справною пожежну сигналізацію.

4. Після закінчення зварювальних робіт необхідно вимкнути зварювальний апарат і переконатися у відсутності запалених предметів.

Засобами пожежогасіння є вода, піна, гази, пар, порошкові суміші та інші. Для подачі води в установки пожежогасіння використовують спеціальні водоводи. При гасінні пожежі газами використовують діоксид вуглецю, азот, димові гази та інші.

При гасінні гасу, бензину, нафти, запалених електричних дротів забороняється застосовування вогнегасників з водою і піною. У таких випадках слід користуватися вуглецевокислотними чи сухими вогнегасниками.

При розробці заходів техніки безпеки при зварюванні і різанні металів необхідно керуватися Державними стандартами України: ДСТУ 2456-94 Зварювання дугове і електрошлакове; ДСТУ 2489-94 (ГОСТ 12.3.047-94) Система стандартів безпеки праці. Контактне зварювання. Вимоги безпеки; ДСТУ-НБА.3.1-16 Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій; НПАОП 28.52-1.31-13 Правила охорони праці під час зварювання металів (32346); Правила охорони праці під час зварювання металів від 14.12.2012 № 1425 та іншими нормативними документами.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Пости дугових видів зварювання.

2.2. Пости контактних видів зварювання.

2.3. Макети газового зварювання і різання.

2.4. Пост плазмового різання.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з основними положенням з техніки безпеки при різних видах зварювання та різанні металів.

3.2. Розписатись в груповому журналі по техніці безпеки.

4. Результати роботи

4.1. Записати в свої зошити основні можливі вражаючі фактори і заходи захисту від них і основні положення з техніки безпеки при зварюванні.

5. Контрольні запитання

5.1 Які існують вражаючі фактори при зварюванні і різанні металів?

5.2 Яка напруга вважається безпечною для сухих і вологих приміщень?

5.3 Які заходи захисту від ураження електричним струмом?

5.4 Як уникнути від ураження світловою енергією при зварюванні і різанні?

5.5 В яких випадках може виникати отруєння шкідливими газами, парами, аерозолями і як захиститись від них?

5.6 В яких випадках виникають удари, вибухи і пожежі і які заходи захисту від них?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
Джерела живлення зварювальної дуги

Мета роботи: засвоїти схеми і принцип дії джерел живлення для дугового зварювання, їх параметри і вольт-амперні характеристики.

1. Основні теоретичні положення

Зварювання – це процес одержання нероз'ємного з'єднання шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх місцевому або загальному нагріванні, пластичній деформації або їх спільної дії.

Дугове зварювання – вид зварювання при якому нагрівання здійснюється електричною дугою. Відноситься до термічного класу видів зварювання - за допомогою плавлення, в яких для розплавлення металу використовують теплову енергію.

Електрична зварювальна дуга – тривалий і потужний розряд електричного струму в іонізованій атмосфері газів і парів металу, у процесі якого виділяється велика кількість теплової і світлової енергії (рис. 2.1).

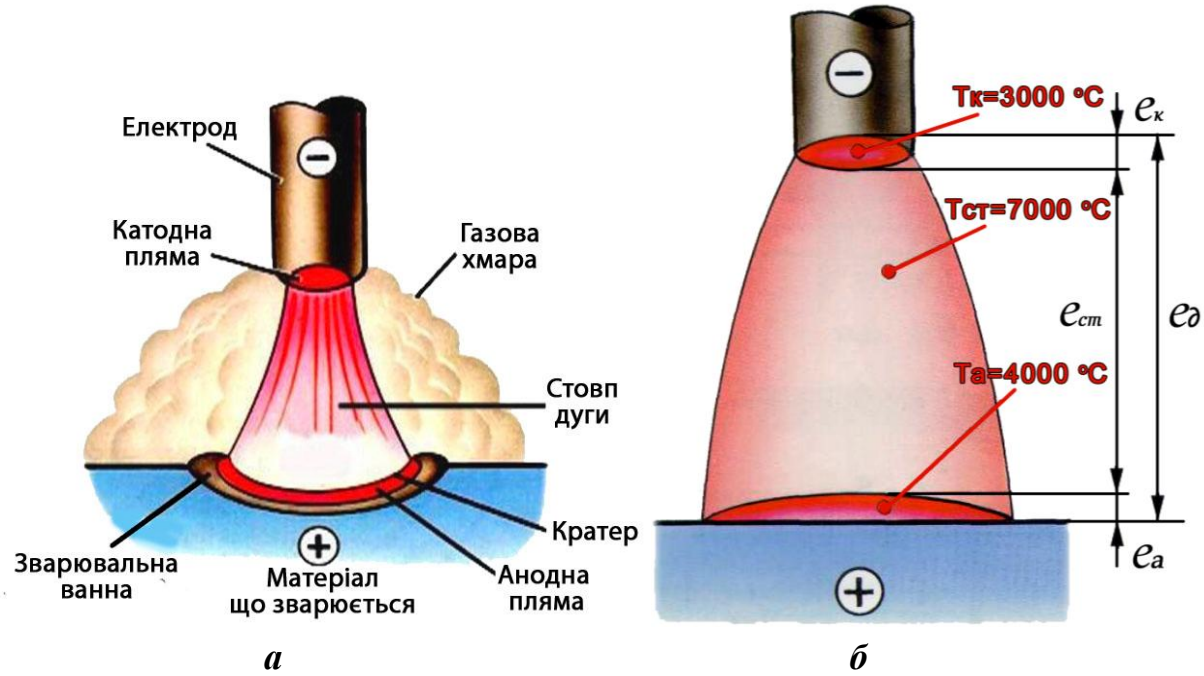


Рис. 2.1. Електрична зварювальна дуга
а – схема горіння; *б* – будова і характеристики.

Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безперервно підтримується в процесі її горіння. Процес запалювання дуги в більшості випадків включає в себе три етапи: коротке замикання електрода на заготовку, відвід електрода на відстань 3…6 мм, що призводить до виникнення стійкого дугового розряду. Після короткого замикання і відведення електрода з його розігрітого торця під дією електричного поля починається ***термоелектронна емісія.*** В результаті повітряний проміжок стає електропровідним і через нього відбувається розряд струму. Процес запалювання дуги закінчується виникненням стійкого дугового розряду. Джерелом теплоти при дугового зварювання є електрична дуга, яка горить між електродом і заготовкою.

Електрична дуга може бути одержана на змінному і постійному струмі, може мати пряму і зворотну полярність.

Теплова потужність дуги визначається за формулою:

$$q = 0,24 \cdot U \cdot I \cdot \eta, \text{ кал/с,} \qquad (2.1)$$

де U – напруга дуги, В; I – сила струму, А; η – ефективний коефіцієнт корисної дії.

Значення η залежить від виду зварювання і довжини дуги.

Для ручного дугового зварювання плавкими електродами η = 0,7…0,85, для зварювання під флюсом η = 0,8…0,95. Із зменшенням довжини дуги η зростає.

При прямій полярності електрод є негативним полюсом, а заготовка – позитивним, при зворотній полярності – навпаки. Дуги постійного струму мають високу стійкість і застосовуються для відповідальних з’єднань і для металів, що мають низьку зварюваність.

При горінні дуги змінного струму негативний і позитивний полюси міняються місцями з певною частотою (50 Гц і більше). Після кожного півперіоду дуга гасне, а потім запалюється знову. Це знижує стійкість дуги і вимагає застосування більш високої напруги. Зварювання на змінному струмі дуже економічне і застосовується для металів, що мають високу зварюваність.

Виконувати зварювання безпосередньо від електричної мережі не можливо, так як її електричні параметри не відповідають тим, що потрібні для зварювання. Тому для зварювання застосовують спеціальні джерела струму.

До джерел струму надають такі вимоги:

- ✓ джерела струму повинні забезпечувати легке запалення і стійке горіння дуги;
- ✓ обмежувати струм короткого замикання;
- ✓ забезпечувати потрібну форму зовнішньої характеристики;
- ✓ бути безпечними у роботі.

Зовнішньою характеристикою джерела живлення називається залежність напруги на його клемах від зварювального струму. Зовнішні характеристики бувають крутопадаючі *1*, пологопадаючі *2* і зростаючі *3* (рис. 2.2). Як правило джерело живлення забезпечує якусь одну з цих характеристик, однак є джерела, що дозволяють одержувати дві або три різних характеристики.

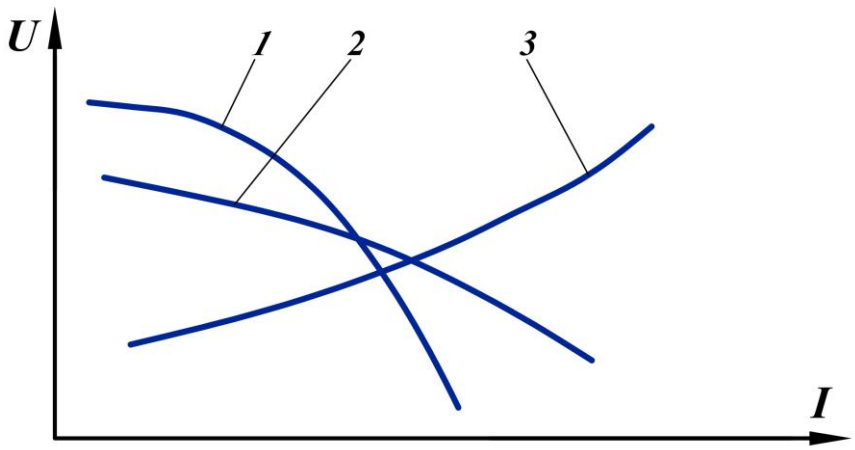


Рис. 2.2. Зовнішні вольт-амперні характеристики джерел живлення дуги:
1 – крутопадаюча; *2* – пологопадаюча; 3 – зростаюча.

Вибір типу зовнішньої характеристики визначається способом зварювання.

При ручному дуговому зварюванні доцільною є крутопадаюча характеристика, при зварюванні під флюсом – пологопадаюча, при зварюванні в атмосфері захисних газів – зростаюча.

Джерела живлення дуги можуть бути змінного і постійного струму.

У ролі джерел змінного струму застосовують знижуючи трансформатори спеціальної конструкції.

Їх поділяють на три групи:

1. Трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням і окремою реактивною обмоткою (дроселем) (рис. 2.3).

2. Трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням (рис. 2.4).

3. Трансформатори з жорстокою характеристикою для електрошлакового зварювання.

Трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням складається із осердя *8*, на якому змонтована первинна *1* і вторинна *2* обмотки. Первинна обмотка з'єднана із зовнішньою мережею, вторинна – з електродом і заготовкою. Крім того трансформатор має реактивну обмотку *4*, що послідовно включається в зварювальний ланцюг. Падаюча характеристика створюється завдяки електрорушійній силі самоіндукції, що виникає в обмотці дроселя. Зварювальний струм регулюється шляхом змінення зазору "а" між рухомим ярмом *3* дроселя і корпусом магнітопроводу. При зменшенні цього зазору магнітний потік в дроселі зростає, а зварювальний струм падає.

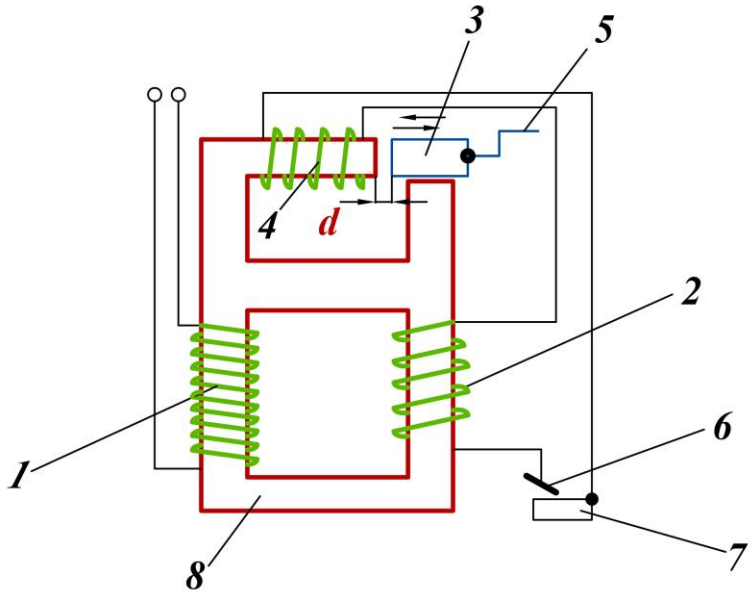


Рис. 2.3. Схема трансформатора СТН-500:
1 – первинна обмотка; *2* – вторинна обмотка; *3* – рухоме ярмо; *4* – реактивна обмотка; *5* – рукоятка регулювання струму; *6* – електрод; *7* – заготовка

При збільшенні зазору – навпаки. Є й інші схеми трансформаторів цієї групи.

Найбільш розповсюдженою схемою трансформаторів з підвищеним магнітним розсіюванням є трансформатори типу СТШ з рухомим магнітним шунтом.

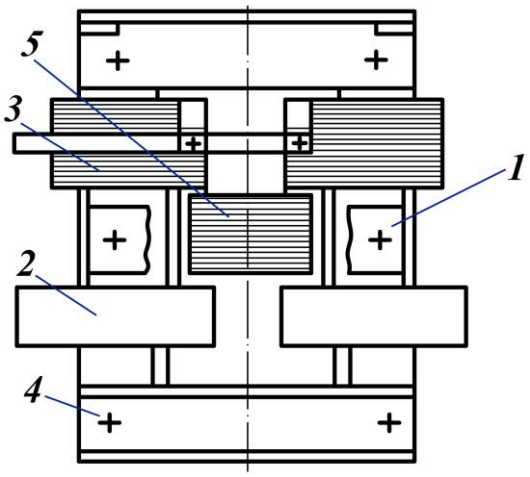


Рис. 2.4. Схема трансформатора СТШ-500:
1 – кронштейн; *2* – первинна обмотка;
3 – вторинна обмотка; *4* – осердя; *5* – шунт

В трансформаторах цього типу первинна обмотка 3 змонтована в верхній частині осердя *4*, а вторинна *2* – в нижній.

Магнітний шунт *5* знаходиться в проміжку між обмотками і може входити у контур магнітопроводу або виходити із нього. В першому випадку зварювальний струм зменшується, так як потік розсівання зростає, в другому випадку – навпаки.

Таку схему і принцип дії має трансформатор СТШ-500, але є і інші схеми і конструкції трансформаторів цієї групи.

У ролі джерел постійного струму застосовують випрямлячі і генератори.

Зварювальний випрямляч – це апарат, що перетворює змінний струм в постійний (пульсуючий) за допомогою напівпровідникових (селенових або кремнієвих) вентилів.

Випрямляч складається з двох частин: трансформатора з пристроєм для регулювання зварювального струму і випрямного трифазного блока (рис. 2.5.).

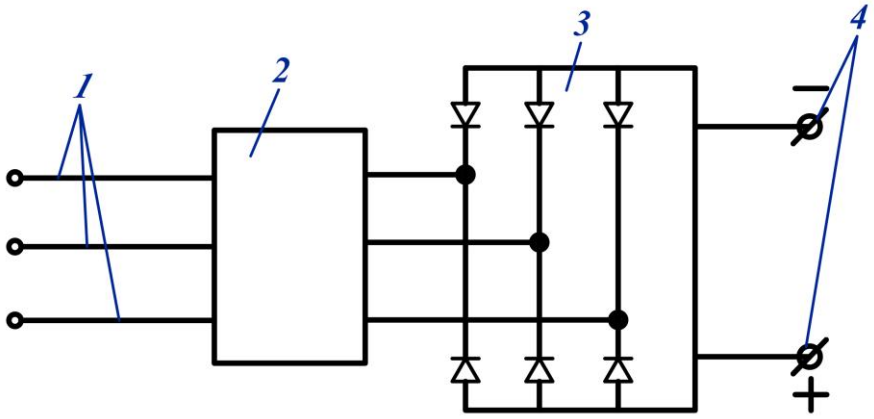


Рис. 2.5. Принципова схема трифазного випрямляча:
1 – зовнішня мережа; *2* – трансформатор;
3 – напівпровідниковий пристрій; *4* – вихідні клеми

Зварювальні випрямлячі прості і надійні. Їх недоліком є нагрівання в процесі роботи і, як наслідок, необхідність штучного охолодження.

Зварювальні генератори постійного струму працюють в комплексі із асинхронними електродвигунами або із двигунами внутрішнього згорання. В першому випадку вони мають назву зварювальні перетворювачі, в другому – звалювальні агрегати.

Зварювальні перетворювачі більш економічні, але вимагають наявності електричної мережі. Використовують переважно в умовах підприємств.

Зварювальні агрегати більш металомісткі, мають нижчий коефіцієнт корисної дії, але можуть застосовуватися в польових умовах.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Пост ручного дугового зварювання (трансформатор СТШ-500, випрямляч ВД-301У3, інвертор TIG (WS) 200)

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з теоретичною частиною роботи.

3.2. Ознайомитись з реальними зразками зварювального обладнання – трансформаторами, випрямлячами, інверторами. Звернути увагу на їх підключення до зовнішньої мережі, заземлення, вихідні проводи, що з'єднуються з електродотримачем і столом зварювальника. Прослідкувати наявність вимірювальних приладів і їх підключення, а також способи регулювання зварювального струму.

4. Результати роботи

4.1. Схеми і принцип дії джерел живлення для дугового зварювання занести до зошита.

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке електрична зварювальна дуга?

5.2. Які вимоги надають до джерел живлення зварювального обладнання?

5.3. Що таке зовнішня характеристика джерела живлення?

5.4. Які недоліки зварювальних випрямлячів?

5.5. Що таке зварювальний генератор?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3
Ручне дугове зварювання

Мета роботи: засвоїти обладнання, технологію і техніку ручного дугового зварювання.

1. Основні теоретичні положення

Ручне дугове зварювання (РДЗ) (режим зварювання **MMA** - Manual Metal Arc) – це процес зварювання, при якому запалення дуги і переміщення електрода відносно заготовки здійснюється в ручному режимі (рис 3.1.).

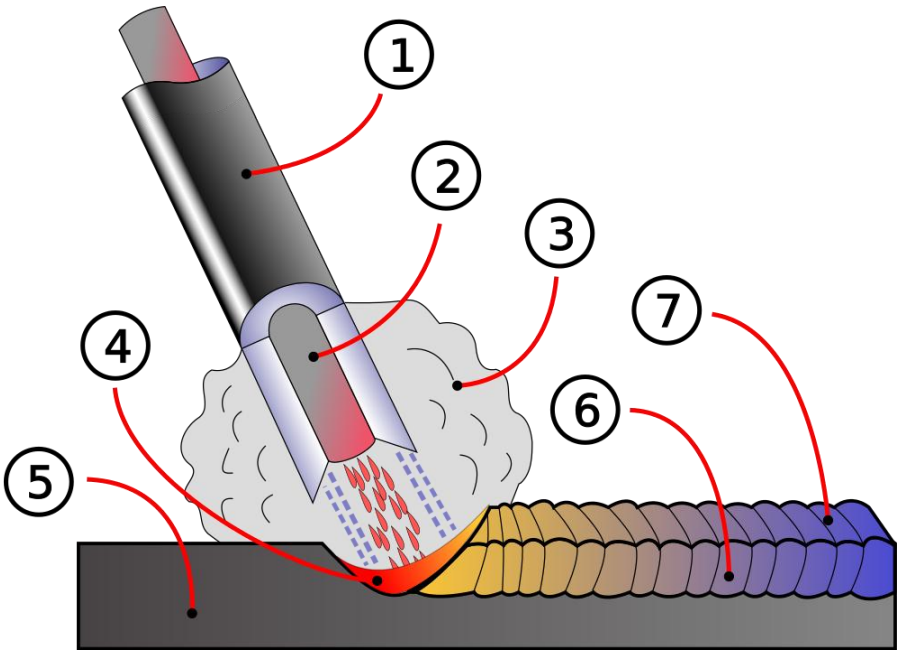


Рис. 3.1. Схема ручного дугового зварювання
1 – електродне покриття; 2 – електрод; *3* – захисна газова атмосфера;
4 – зварювальна ванна; *5* – заготовка; *6, 7* – шов

Це найбільш розповсюджений і універсальний вид зварювання.

У процесі зварювання металевим покритим електродом – дуга горить між стержнем електрода *2* і основним металом *5*. Стержень електрода плавиться, і розплавлений метал краплями стікає в металеву ванну. Разом зі стрижнем плавиться покриття електрода *1*, утворюючи газову захисну атмосферу *3* навколо дуги і рідку шлакову ванну на поверхні

розплавленого металу. Металева та шлакові ванни разом утворюють зварювальну ванну *4*. У міру руху дуги зварювальна ванна твердне і утворюється зварювальний шов *6, 7*. Рідкий шлак після охолодження утворює тверду шлакову кірку. Електроди для ручного зварювання являють собою стержні з нанесеними на них покриттями. Стержні виготовляють із зварювального дроту підвищеної якості.

Ручне зварювання застосовують при виконанні коротких і криволінійних швів в будь-яких просторових положеннях, в важкодоступних місцях, а також при монтажних роботах і складання конструкцій складної форми.

Ручне зварювання забезпечує високу якість зварних швів, але має більш низьку продуктивністю у порівнянні з автоматичним і напівавтоматичним дуговими зварюваннями.

Пост ручного дугового зварювання показаний на рис. 3.2.

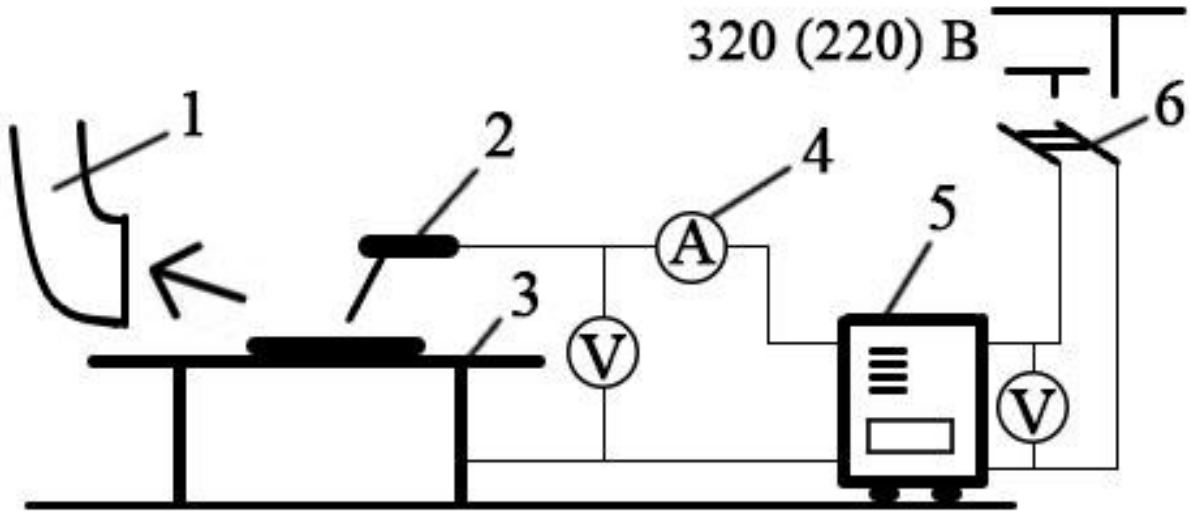


Рис. 3.2. Пост ручного дугового зварювання
1 – витяжна вентиляція; *2* – електродотримач з електродом; *3* – стіл зварювальника; *4* –амперметр; *5* – джерело струму; *6* – вмикач зовнішньої мережі

Ручне дугове зварювання може виконуватись на змінному і постійному струмі.

До основних параметрів режиму ручного зварювання відносяться: діаметр електродів, сила струму, робоча напруга, довжина дуги.

Діаметр електроду *d* визначається залежно від товщини металу *S*, що зварюється або наплавляється:

***S*, мм**	**< 0,5**	**1…2**	**3…5**	**5…10**	**> 10**
***d*, мм**	**1,5**	**2…3**	**3…4**	**4…5**	**5…8**

Сила струму ***I*** вибирається залежно від діаметра електрода:

$$I = (40...60)d, \text{ А}. \qquad (3.1)$$

Робоча напруга для постійного струму – 20…25 В, для змінного – 25…30 В.

Довжина дуги ***ℓ*** дорівнює 3…5 мм і приблизно визначається:

$$\ell = 0{,}5\ (d \pm 1), \text{ мм}. \qquad (3.2)$$

Час горіння дуги:

$$t_0 = \frac{M}{IK_н}, \text{ год}, \qquad (3.3)$$

де *M* – маса металу, що наплавляється; г; *I* – сила струму, А; $K_н$ - коефіцієнт наплавлення, г/А·год.

Швидкість зварювання :

$$V = \frac{L}{t_0}, \text{ м/год}, \qquad (3.4)$$

де ***L*** – загальна довжина зварних швів, м.

Продуктивність зварювання:

$$П = K_н \cdot I, \text{ г/год}. \qquad (3.5)$$

Для запалення дуги необхідно торкнутись кінцем електрода до заготовки або зробити такий рух, як при запаленні сірника. Після цього

відвести електрод на відстань горіння дуги. Якщо це не зробити, кінець електрода привариться до заготовки.

В процесі зварювання робочий здійснює три рухи: перший – це подолання кінця електрода в напрямку заготовки з метою компенсування його згорання; другий рух – це переміщення електрода вздовж шва; третій рух - це переміщення електрода упоперек шва з метою формування його потрібної ширини (рис 3.3).

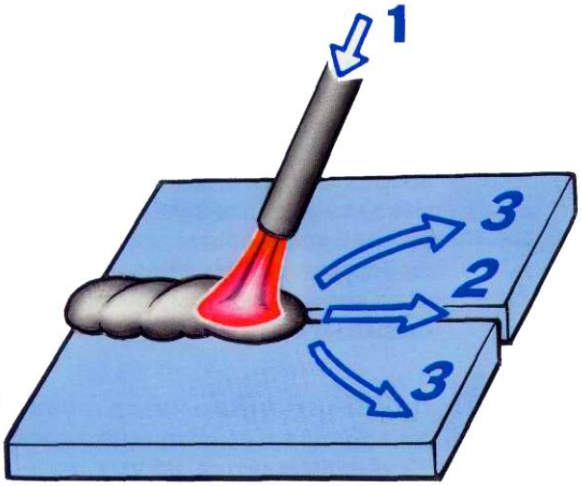


Рис. 3.3. Рухи електродом в процесі РДЗ.

Після зварювання необхідно збити шлакову кірку і візуально оцінити якість зварювання.

Сучасний зварювальний інвертор представлений на рис. 3.4.

Рис. 3.4. Сучасний зварювальний інвертор:
1. – інвертор TIG (WS) 200, *2*. – набір зварювальних кабелів.

Набір зварювальних кабелів призначений для тривалих робіт зі зварювальним обладнанням типу TIG/MMA, MIG/MMA (CUT – тільки затискач маси) з максимальним робочим струмом до 180 А. У набір входить кабель довжиною 3 м з тримачем електродів і 2,5 м із затискачем маси.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Пост ручного дугового зварювання (трансформатор СТШ-500, випрямляч ВД-301У3, інвертор TIG (WS) 200).

2.2. Електроди.

2.3. Сталева пластина.

2.4. Маска (щиток) електрозварника.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з теоретичною частиною роботи. Доцільно практичну частину роботи виконувати бригадами по 5 - 6 студентів.

3.2. Визначити параметри режиму зварювання. Провести налагодження обладнання на ці параметри.

3.3. Виконати наплавлення зварювального шва, збити шлакову кірку і оцінити якість наплавленого металу.

3.4. Визначають основні параметри, які були отримані при зварюванні.

4. Результати роботи

4.1. Результати роботи занести до табл. 3.1.

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке ручне дугове зварювання?

5.2. Яка галузь застосування ручного дугового зварювання?

5.3. Які є основні параметри ручного дугового зварювання і як вони визначаються?

5.4. Що треба зробити для запалення дуги?

5.5. Які рухи робить робочий в процесі ручного дугового зварювання?

Таблиця 3.1

Режими зварювання при ручному дуговому зварюванні

Параметр режиму зварювання	**Формула для розрахунку параметру**	**Результат**
Товщина основного металу *S*, мм	Вимірюється	
Діаметр електроду *d*, мм	Вимірюється	
Сила струму зварювання *I*, А	$I = (40 \ldots 60)\,d$	
Робоча напруга *U*, В	Знімається з вольтметра	
Довжина дуги *l*, мм	$\ell = 0{,}5\,(d \pm 1)$	
Продуктивність зварювання *П*, г/год	$П = K_н \cdot I$	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
Визначення основних технологічних параметрів при ручному дуговому зварюванні

Мета роботи: засвоїти методику експериментального визначення технологічних параметрів зварювання для його технічного нормування.

1. Основні теоретичні положення

До найбільш важливих технологічних параметрів дугового зварювання відносяться коефіцієнт розплавлення і коефіцієнт витрат на згорання і розбризкування.

Коефіцієнт наплавлення – це маса електродного металу, що наплавляється за одну годину і припадає на один ампер зварювального струму.

Коефіцієнт наплавлення визначається за формулою:

$$K_н = 3600\frac{M_н}{I \cdot t_0}, \quad \text{г/Агод} \qquad (4.1)$$

де $M_н$ – маса металу, що наплавляється, г; I – сила струму, А; t_o – час горіння дуги, с.

Коефіцієнт розплавлення – це маса електродного металу, що розплавляється за одну годину і припадає на один ампер зварювального струму.

Коефіцієнт розплавлення визначається за формулою:

$$K_p = 3600\frac{M_p}{I \cdot t_0}, \quad \text{г/Агод} \qquad (4.2)$$

де M_p – маса електродного металу, що розплавляється, г.

Коефіцієнт розплавлення завжди більше ніж коефіцієнт наплавлення в зв’язку із згоранням і розбризкуванням частини електродного металу.

Коефіцієнт витрат на згорання і розбризкування визначається за формулою:

$$\psi = 100\frac{M_p - M_н}{M_p}, \quad \%. \qquad (4.3)$$

Означені коефіцієнти застосовуються для нормування ручного дугового зварювання.

Час горіння дуги:

$$t_0 = \frac{M_н}{I \cdot K_н}, \text{ год} \quad (4.4)$$

Час зварювання:

$$t = \frac{t_0}{K_п}, \text{ год} \quad (4.5)$$

де $K_п$ – коефіцієнт застосування зварювального поста.

Для умов підприємства $K_п$ = 0,7…0,8; для польових умов $K_п$ = 0,4…0,6.

Витрати електродів:

$$M_{ел} = \frac{M_P}{1000}(1 + \frac{\Psi}{100})K, \text{ г} \quad (4.6)$$

де K – коефіцієнт, що враховує масу огарків і масу покриття.

Маса огарків приймається як 10…15 % від маси електроду, а маса покриття – 15…35 %.

Масу металу, що наплавляється визначається за співвідношенням:

$$M_н = M'_{пл} - M_{пл}, \text{ г} \quad (4.7)$$

де $M'_{пл}$ – маса стержня електрода, г, $M_п$ – маса пластини до наплавлення, г

Маса металу, що розплавляється:

$$M_P = M_{ст} - M_{ог}, \text{ г} \quad (4.8)$$

де $M_{ст}$ – маса стержня електрода, г, $M_{ог}$ – м аса стержня огарка, г.

Для одержання більш точних результатів роботу виконати трьома бригадами.

Таблиця 4.1

Бригада	$M_п$, **г**	$M'_{пл}$, **г**	$M_{ел}$, **г**	$M_{ст}$, **г**	$M_{ог}$, **г**	**U, В**	**I, А**	$t_о$, **с**
№ 1								
№ 2								
№ 3								

Умовні позначення в табл. 4.1:

$M_{ел}$ – маса електрода, г; U – робоча напруга, В.

Таблиця 4.2.

Бригада	**Мн, г**	**Мр, г**	$K_н$ **, г/Агод**	$K_р$ **, г/Агод**	ψ**, %**	$K_{нд}$ **, г/Агод**
N 1						
N 2						
N 3						

Умовні позначення в табл. 4.2:

$K_{нд}$ – довідкове значення коефіцієнта наплавлення (табл. 4.3).

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Пост ручного дугового зварювання (трансформатор СТШ-500, випрямляч ВД-301У3, інвертор TIG (WS) 200).

2.2. Електроди.

2.3. Сталева пластина.

2.4. Маска (щиток) електрозварника.

2.5. Амперметр і вольтметр.

2.6. Терези з набором важелів.

2.7. Секундомір.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з теоретичною частиною роботи. Доцільно практичну частину роботи виконувати бригадами по 5 - 6 студентів.

3.2. Зважити пластину і електрод. Очистити електрод від покриття і зважити стержень електроду. Результати занести в табл. 4.1.

3.3. Виконати наплавлення пластини. В процесі наплавлення зафіксувати силу струму, робочу напругу і тривалість наплавлення. Результати занести в табл. 4.1.

3.4. Збити шлакову кірку і зважити пластину після наплавлення. Очистити огарок електроду від покриття і зважити стержень огарка. Результати записати в табл. 4.1.

3.5. Визначити масу металу, що наплавляється і підрахувати значення коефіцієнтів наплавлення, розплавлення і витрат на згорання і розбризкування за формулами 4.1 – 4.8 і занести їх в табл. 4.2.

3.6. Порівняти одержане значення коефіцієнта наплавлення з довідковим (табл. 4.3) і зробити висновок про точність експерименту.

4. Результати роботи

4.1. Результати роботи занести до табл. 4.1., 4.2.

Таблиця 4.3

Електроди для ручного дугового зварювання конструкційних сталей на постійному та змінному струмах для будь-яких положень

Тип	**Марка**	**Коефіцієнт наплавлення, г/Агод**	**Тип**	**Марка**	**Коефіцієнт наплавлення, г/Агод**
Э42	**АНО-6**	8,0-9,5	Э50А	**УОНИ 13/55**	9,0-10,0
	АНО-17	9,5-10,5		**АНО-27**	9,01-11,0
Э42А	**УОНИ 13/45**	9,0-10,0	Э42	**УОНИ 13/55**	9,0-10,0
Э46	**АНО-4**	8,0-8,5	Э60	**УОНИ 13/65**	9,0-10,0
	АНО-4И	8,5	Э70	**ЛКЗ-70**	8,0-9,5
	АНО-24	8,0-8,5	Э85	**АНП-2**	9,0-10
	МР-3	8,0-8,5	Э12Х13	**УОНИ/10Х13**	11
Э46А	**ВН-48**	10,0	Э04Х12Н9	**ОЗЛ-14**	13

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке коефіцієнти наплавлення і розплавлення і яка їх розмірність?

5.2. Яке співвідношення між коефіцієнтами наплавлення і розплавлення?

5.3. Що таке коефіцієнт витрат на угар і розбризкування і в яких одиницях він вимірюється?

5.4. Які технологічні параметри зварювання можна спрогнозувати з допомогою коефіцієнтів $K_н$, $K_р$, Ψ?

5.5. Які рухи робить робочий в процесі ручного дугового зварювання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
Напівавтоматичне і автоматичне дугове зварювання

Мета роботи: засвоїти обладнання, технологію і режими автоматичного зварювання під флюсом та напівавтоматичного в середовищі захисних газів.

1. Основні теоретичні положення

Дугове зварювання під флюсом – це процес, при якому дуга горить не в повітрі, а під шаром спеціального порошкоподібного флюсу.

Зварювальний флюс (режим зварювання) – це неметалеві матеріали, які слугують для захисту металу, що наплавляється від повітря і легування металу шва необхідними присадками. Їх розплав потрібен для стабілізації процесу зварювання і покращення якості шва. Взаємодіючі з рідким металом розплавлений флюс значною мірою визначає хімічний склад металу і його механічні властивості. Утворюючи над металом кірку шлаку, флюс сприяє повільному охолодженню метала, виходу на поверхню шлакових включень і утворенню щільного і високоякісного шва. Флюси сприяють стійкому горінню дуги і стабільному протіканню процесу зварювання.

Зварювання виконується сталевим дротом без покриття.

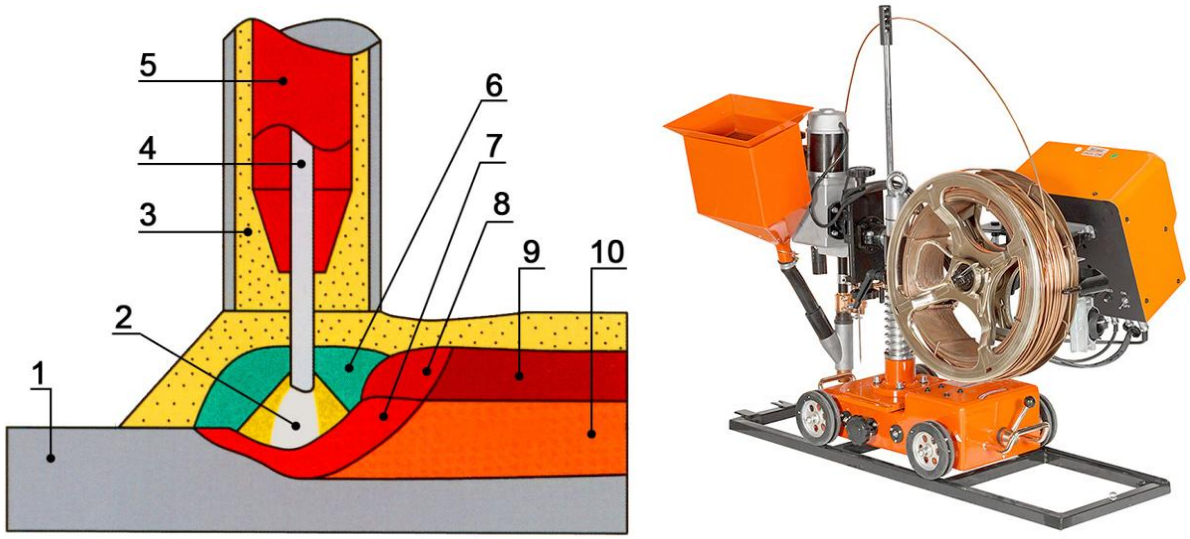
Зварювання може виконуватися в автоматичному або напівавтоматичному режимах.

При автоматичному зварюванні операції запалення і підтримання горіння дуги, подавання дроту і флюсу, переміщення дуги вздовж шва, регулювання електричних параметрів виконуються автоматично, при напівавтоматичному – переміщення дуги відносно заготовки здійснюється в ручному режимі, а інші операції – автоматично.

Схема горіння дуги при автоматичному зварюванні під флюсом (режим зварювання **SMAW** - Submerged Metal Automatic Welding) показана на рис. 5.1, а.

Подача і переміщення електродного дроту *4* механізовані. Автоматизовані процеси запалення дуги і заварювання кратера у кінці шва. Зварювальна дуга *2* горить у газовому міхурі *6*, що виникає між розплавленим флюсом *3* і поверхнею розплавленого метала зварювальної

ванни *7*. Особливістю цього процесу є те, що при збільшенні сили струму відбувається сильне розбризкування металу, але воно здійснюється в об’ємі газового міхура, в якому рідкий метал стікає до низу і утворює гарний зварний шов *10*.



а ***б***

Рис. 5.1. Дугове автоматичне зварювання під флюсом
а – схема горіння дуги при автоматичному зварюванні під флюсом:
1 – основний метал; *2* – зварювальна дуга; *3* – флюс;
4 – зварювальний дріт; *5* – контактний наконечник; 6 – захисний газ; *7* – зварювальна ванна; *8* – розплавлений шлак; *9* – затверділий шлак; *10* – зварювальний шов;
б – зварювальний трактор Jasic MK-1.

Завдяки можливості виконувати процес при великих силах струму, зварювання під флюсом являє собою високопродуктивний спосіб. Переваги автоматичного зварювання під флюсом в порівнянні з ручним: підвищення продуктивності процесу зварювання в 5…10 разів, підвищення якості зварних з'єднань і зменшення собівартості 1 м зварного шва.

Для зварювання використовується змінний і постійний струм прямої чи зворотної полярності. Високі значення сили зварювального струму визначають підвищену глибину проплавлення основного металу.

У ролі обладнання для автоматичного зварювання під флюсом застосовуються зварювальні трактори (рис. 5.1, б) і головки. Зварювальний трактор - це самохідний пристрій, який рухається вздовж шва і виконує зварювання в автоматичному режимі. Він складається із електродвигуна, трансмісії, механізмів переміщення, подавання дроту і флюсу.

Зварювальні трактори застосовують для швів великої довжини і простої конфігурації в нижньому положенні в умовах підприємств.

Зварювальні головки на відміну від тракторів є стаціонарним обладнанням, а рух здійснюють заготовки, що зварюються. Вони широко застосовуються для виготовлення зварних труб і інших виробів.

Для напівавтоматичного зварювання застосовують шлангові напівавтомати, які складаються із джерела живлення дуги, механізму подавання дроту, пальника з бункером флюсу і шланга, що з'єднує пальник з рештою механізмів. Його можна застосовувати для швів будь-якої конфігурації, як в умовах підприємств, так і в монтажних умовах.

Застосовується спосіб зварювання під флюсом для з'єднання металу товщиною від 5 до50 мм.

Режими зварювання під флюсом містять глибину проплавлення, діаметр присаджувального дроту, силу струму, робочу напругу, швидкість зварювання та інші.

Глибина проплавлення h для стикових з'єднань:

$$h = S, \text{ мм}, \tag{5.1}$$

де S – товщина основного металу, мм.

Для кутових і таврових з'єднань:

$$h = 0{,}65\ S, \text{ мм}. \tag{5.2}$$

Сила струму I:

$$I = (80\ldots100)\ h, \text{ А}. \tag{5.3}$$

Діаметр зварювального дроту d і силу струму I підбирають:

***I*, А**	**190…250**	**250…600**	**350…800**	**470…1000**	**625…1350**
***d*, мм**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**

Час, швидкість і продуктивність зварювання розраховують по однакових формулах для всіх видів зварювання 3.3, 3.4 і 3.5.

Коефіцієнт наплавлення при зварюванні під флюсом звичайно дорівнює $K_н$ = 16…18 г/А·год.

Дугове зварювання у середовищі захисних газів здійснюють за схемами, на яких зображені зварювання електродом, що не плавиться (режим зварювання **TIG** - Tungsten Inert Gas) (рис 5.2) і електродом, що плавиться (режим зварювання **MIG / MAG** - Metal Inert / Active Gas) (рис. 5.3).

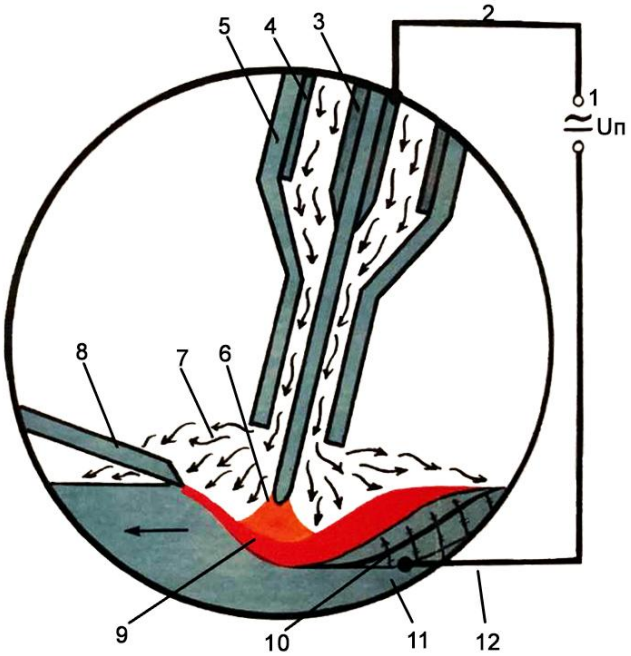


Рис. 5.2. Схема зварювання електродом, що не плавиться

1 – джерело живлення дуги постійним і змінним струмом; *2* – прямий зварювальний провід; *3* – вольфрамовий мундштук (цанга); *4* – корпус пальника для дугового зварювання; *5* – сопло пальника; *6* – електрична (зварювальна) дуга; *7* – струмінь захисного інертного газу (аргону, гелію, їхніх сумішей); *8* – присадний дріт; *9* – зварювальна ванна; *10* – метал шва; *11* – основний метал; *12* – зворотний зварювальний провід

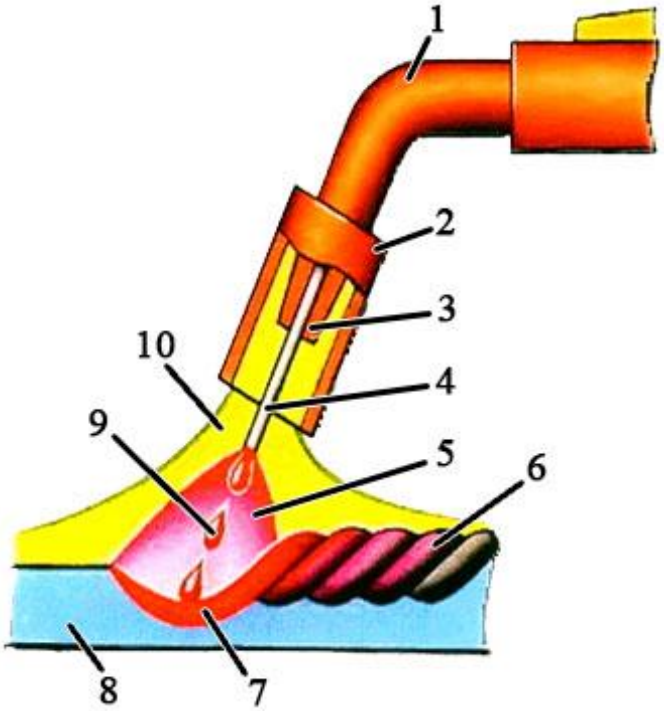


Рис. 5.3. Схема зварювання електродом, що плавиться

1 – пальник; *2* – сопло; *3* – струмопровідний наконечник; *4* – електродний дріт; *5* – зварювальна дуга; 6 – зварювальний шов; *7* – зварювальна ванна; *8* – основний метал; *9* – краплі електродного металу; *10* – газовий захист

При зварюванні в захисному газі електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищені струменем газу. В якості захисних газів застосовують інертні гази (аргон і гелій) і активні гази (вуглекислий газ, азот, водень тощо), а іноді - суміші двох газів і більше. В Україні – виключно аргон і вуглекислий газ.

Зварювання в середовищі захисних газів в залежності від ступеня механізації процесів подачі присадного або зварювального дроту і переміщення зварювального пальника може бути ручне, напівавтоматичне й автоматичне.

Таке зварювання забезпечує гарний захист розплавленого металу від дії кисню і азоту повітря, а також більшу концентрацію тепла, яка дозволяє отримувати меншу зону термічного впливу. Завдяки цьому зменшується вплив зварного шва на розміцнення зварного з'єднання. Спосіб дозволяє зварювати метали, товщина яких складає від часток міліметрів до десятків міліметрів.

При зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей звичайно використовують вуглекислий газ.

Зварювання у вуглекислому газі виконується на постійному струмі зі зворотною полярністю, що запобігає появі пористості в наплавленому металі і дає змогу зварювати листові заготовки з вуглецевої і низьколегованої будівельної сталей. Спосіб може виконуватись у напівавтоматичному, автоматичному або роботизованому режимах.

Процес звичайно здійснюють за схемою зварювання електродом, що плавиться, за допомогою пальників-тримачів. Електродний дріт *4* автоматично подається в зону горіння дуги *5*, де плавиться, створюючи зварювальну ванну *7*. Вуглекислий газ проходить через сопло *2* і захищає наплавлений метал від повітря.

Захист розплавленого металу від окислювання відбувається за допомогою хімічних елементів – розкислювачів, таких як кремній, марганець, алюміній тощо, які містяться у складі зварювального дроту. Наприклад, розкислювання заліза за допомогою кремнію і марганцю відбувається за реакціями:

$$2FeO + Si = 2Fe + SiO_2;$$

$$FeO + Mn = Fe + MnO.$$

Застосовують зварювальні дроти марок Св-08ГС, Св-08Г2СА, порошковий дріт ПП-АН-63 та інші.

Зварювання в середовищі вуглекислого газу виконують на обладнанні, що комплектується з джерела живлення, напівавтомата (або робота), який складається з механізму подачі зварювального дроту, касети зі зварювальним дротом, гнучким шлангом з пальником, блоком керування тощо, а також газовим балоном і газовим редуктором (рис. 6.4). В якості джерела живлення використовують випрямлячі і інвертори.

Схема поста для напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу, що знаходиться в лабораторії зварювання, показана на рис. 5.4.

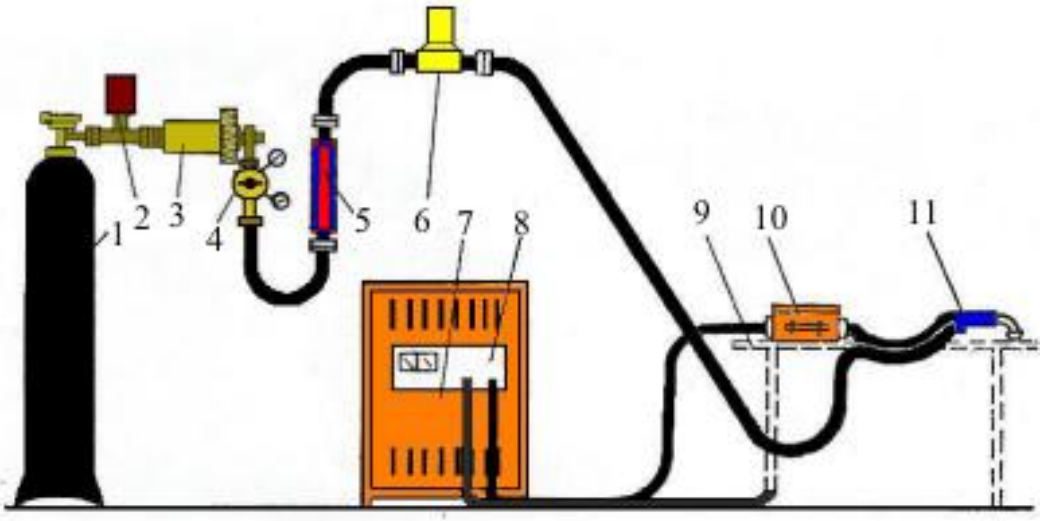


Рис. 5.4. Схема поста напівавтоматичного зварювання в середовищі CO_2
1 – балон з CO_2; *2* – підігрівник; *3* – осушувач; *4* – редуктор; *5* – витратомір;
6 – газоелектричний клапан; *7* – джерело живлення (випрямляч ВДГ-303);
8 – блок керування; *9* – стіл зварника; *10* – механізм подачі зварювального дроту
(напівавтомат ПДГ 312-У3); *11* – зварювальний пальник

Параметрами режиму автоматичного і напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу є діаметр зварювального дроту, сила струму, напруга, витрати вуглекислого газу в одиницю часу, швидкість зварювання.

Вибір дроту, силу струму, напруги, витрати захисного газу за одиницю часу відбувається за спеціальними рекомендаціями, наприклад, за такими, що подані в табл.5.1.

Таблиця 5.1

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Струм, А	Напруга, В	Витрати CO_2, л/хв
0,6…1,0	0,5…0,8	50…60	18	6…7
1,2…2,0	0,8…1,0	70…110	18…20	10…12
3…5	1,6…2,0	160…200	27…29	14…16
6…8	2	280…300	28…30	16…18

Час, швидкість і продуктивність зварювання розраховують по однакових формулах для всіх видів зварювання 3.3, 3.4 і 3.5.

Коефіцієнт наплавлення при зварюванні в середовищі вуглекислого газу звичайно дорівнює $K_н$ = 10…14 г/Агод.

На рис. 5.5 показане сучасне обладнання для напівавтоматичного зварювання.

Рис. 5.5. Обладнання для напівавтоматичного зварювання:
1. – балон CO_2 вуглекислота 40л, *2*. – інвертор Tesla Weld MMA 295, *3*. – зварювальний рукав MIG/MAG RF GRIP 15, *4*. – дріт зварювальний ER 308 Ø 0.8 мм,
5. – редуктор JTR-58 вуглекислотний з підігрівом, 36 В.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Макет зварювального трактора.

2.2. Установка УД-209 (випрямляч ВДУ-506).

2.3. Напівавтомат ПДГ-312У3 та інвертор Tesla Weld MMA 295.

2.4. Джерела живлення дуги (випрямляч ВДГ-303).

2.5. Зварювальні дроти.

2.6. Сталеві пластини.

2.7. Зварювальний флюс марки АН-348А.

2.8. Маска (щиток) електрозварника.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з основними принципами зварювання під флюсом та в середовищі захисних газів.

3.2. Ознайомитись з конструкцією і принципом дії обладнання для зварювання під флюсом і в середовищі вуглекислого газу.

3.3. Визначити основні параметри автоматичного зварювання під флюсом і в середовищі вуглекислого газу.

4. Результати роботи

4.1. Результати визначення основних параметрів занести до зошита.

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке зварювання під флюсом?

5.2. Яка роль флюсу при цьому зварюванні?

5.3. Яка галузь застосування автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом?

5.4. Яке обладнання застосовується при зварюванні під флюсом?

5.5. Яка роль захисних газів при зварюванні і яку бувають гази?

5.6. Яке обладнання застосовується при зварюванні в середовищі вуглекислого газу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6
Мікроструктурний аналіз зварного з’єднання

Мета роботи: ознайомитись з мікроструктурою і властивостями зварного з’єднання.

1. Основні теоретичні положення

Зварне з’єднання складається із шва і зони термічного впливу (рис. 6.1).

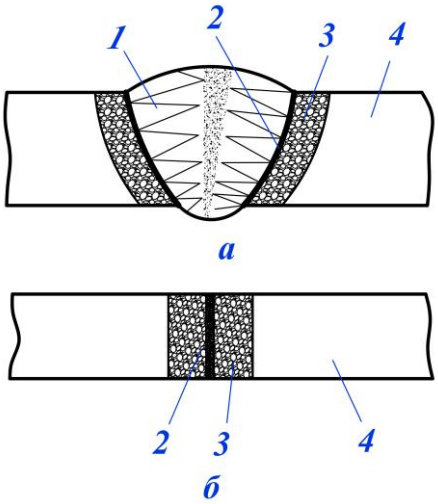


Рис. 6.1. Схема зварного з’єднання:
а – при зварюванні плавленням; ***б*** – при зварюванні тиском
1 – зварний шов, *2* – зона сплавлення (зчеплення),
3 – зона термічного впливу (ЗТВ); *4* – основний метал

Шов утворюється при твердінні рідкого металу і має характерну для відливків будову.

Зона термічного впливу – це перехідна зона між швом і основним металом. В цій зоні метал не був розплавлений і зберіг свій хімічний склад, але змінив структуру і властивості за рахунок процесів нагрівання і охолодження при зварюванні.

В зоні термічного впливу відбуваються процеси подібні тім, що відбувається при термообробці сталі. Ступінь термічного впливу залежить від здатності металу до реагування на термообробку і для сталі підвищується із зростанням вмісту вуглецю.

Зварне з’єднання може бути розділено на ряд ділянок із різною

структурою і властивостями (рис. 6.2).

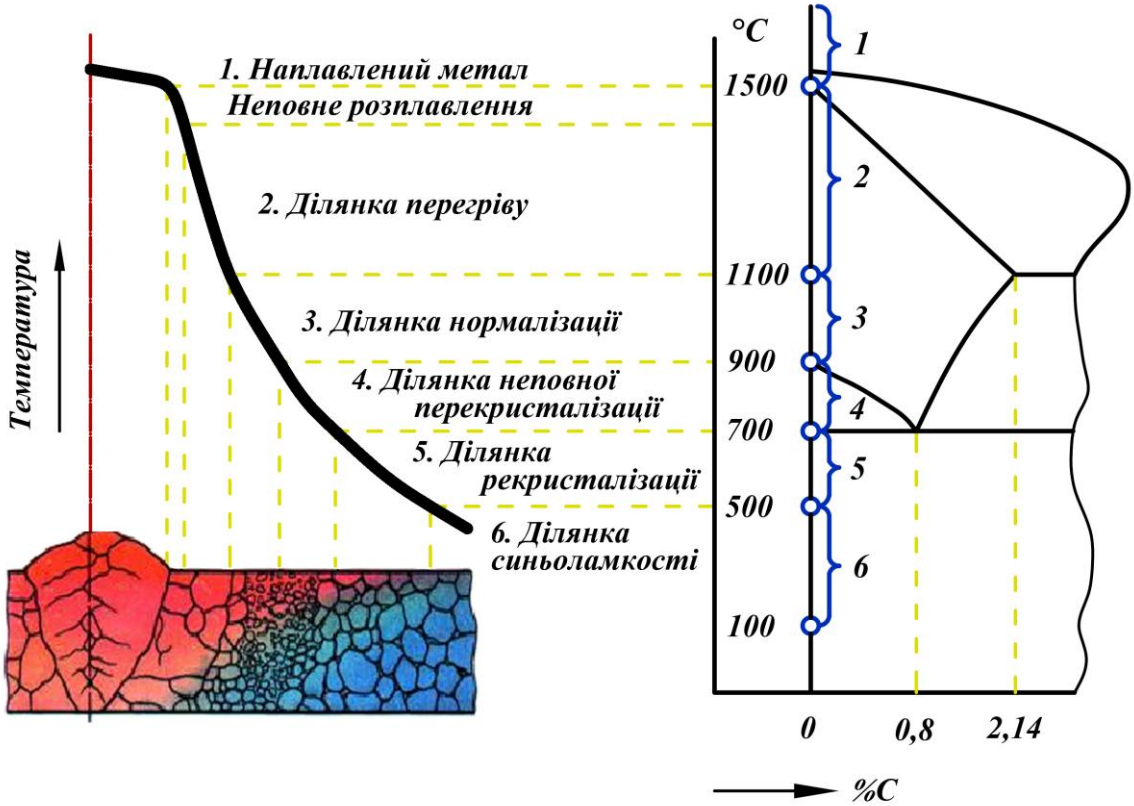


Рис. 6.2. Мікроструктура зварного з'єднання низьковуглецевої сталі.
Структурні дільниці зони термічного впливу:
1 – сплавлення; 2 – перегріву; 3 – нормалізації;
4 – неповної перекристалізації; 5 – рекристалізації; 6 – синьоламкості

В зоні шва спостерігається крупнозерниста дендритна стовпчаста структура. Ця структура має міцність і твердість менше ніж смугаста структура основного металу. Для досягнення рівноміцності, як правило, вибирають електроди із металу з більш високою міцністю (на 15…20%) порівняно з основним металом.

Проміжна зона між швом і основним металом має назву зони ***сплавлення (неповне розплавлення).*** Метал в цій зоні був частково розплавлений і має перехідну структуру.

До зони сплавлення прилегла зона ***перегріву***, в якій надлишковий ферит виділяється у вигляді сітки по межах зерен, або у вигляді довгих голок, що прорізують зерна перліту. Така структура має назву ***відманштетової*** і характерна високою твердістю і низькою міцністю і пластичністю. Часто є ***найбільш слабким місцем з'єднання***. Для зниження впливу цієї структури на міцність з'єднання його в деяких випадках піддають відпалу або нормалізації.

Далі йде зона нормалізації, в якій метал був розігрітий вище ліній A_{c3} або $A_{ст}$.

Після охолодження на повітрі утворюється дрібнозерниста структура з високою міцністю і пластичністю. Є ***найбільш міцним елементом*** зварного з'єднання.

Наступна зона – ***неповної перекристалізації***. Метал цієї зони розігрівається до температур вище A_{c4}, але нижче A_{c3}, що викликає перехід перліту в аустеніт. Після повільного охолодження утворюються дрібні зерна перліту, а ферит залишається без змін. Така структура забезпечує невелике зниження механічних характеристик порівняно із зоною нормалізації.

Наступна зона – ***рекристалізації.*** Температура нагріву в цій зоні – нижче A_{c4} і тому фазові перетворення не відбуваються. В той же час здійснюється процес руйнування смугастої структури і відновлення рівноважної. Для цієї зони характерна підвищена пластичність при певному зниженні твердості і міцності.

Наступна зона – ***синьоламкості***, в якій зберігається смугаста структура основного металу. Ця зона характерна невеликим зниженням ударної в'язкості, особливо при роботі в умовах високих температур.

Ширина зони термічного впливу залежить від способу зварювання і марки електродів: для електродів з тонким покриттям – 2,0…2,5 мм, з товстим – 4…10 мм, при газовому зварюванні – 20…25 мм.

2. Необхідні прилади і матеріали

6.1. Мікроскоп металографічний вертикальний МІМ-7.

6.2. Мікрошліфи зварних з'єднань низьковуглецевої сталі.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з теоретичною частиною роботи.

3.2. Вивчити з допомогою металографічного мікроскопу будову зварного з'єднання низьковуглецевої сталі при зварюванні плавленням.

3.3. Схематично намалювати мікроструктуру зварного з'єднання і показати її складові.

3.4. Дати характеристику особливостям будови і механічним властивостям усіх ділянок зварного з'єднання.

4. Результати роботи

4.1. Результати роботи занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Назва ділянки	Фазовий склад	Розмір і форма зерна	Характерні властивості
Шов			
Сплавлення			
Перегріву			
Нормалізації			
Неповної перекристалізації			
Рекристалізації			
Синьоламкості			
Вихідний метал			

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке зона термічного впливу і внаслідок чого вона утворюється?

5.2. Яку структуру має зварний шов і які його властивості?

5.3. Які ділянки містить зона термічного впливу?

5.4. Яке найбільш слабке місце зони термічного впливу?

5.5. Як можна знизити вплив зони перегріву на зварне з’єднання?

5.6. Яке найбільш міцне місце зони термічного впливу?

5.7. Яка ширина зони термічного впливу і від чого вона залежить?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7
Контактне електричне зварювання

Мета роботи: засвоїти обладнання, технологію і техніку контактних електричних видів зварювання.

1. Основні теоретичні положення

Контактна зварювання – це процес отримання зварних з'єднань, при якому поверхні, що зварюються, розігріваються електричним струмом до рідкого або термопластичного стану з одночасним або наступним сильним стискуванням. Відноситься до термомеханічного класу видів зварювання – із використанням теплової енергії і тиску.

Нагрів здійснюється при проходженні електричного струму через заготовки за рахунок виділення тепла у місці контакту за законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \tag{7.1}$$

де I – сила струму, R – електроопір, t – час.

Завдяки великому електроопору, в місці контакту заготовок виділяється більше тепла. Це викликається тим, що на поверхні металу є плівки оксидів і забруднення з малою електропровідністю, які збільшують електроопір контакту. У зв'язку з цим місце контакту нагрівається до високої температури і стає найбільш пластичною частиною заготовок. При стискуванні нагрітих заготовок відбувається їх повне зближення до міжатомних відстаней, тобто зварювання.

Нагрів здійснюється, в більшості випадків, змінним електричним струмом.

Контактне зварювання буває стикове, точкове і шовне.

Стикове зварювання – вид контактного зварювання, при якому заготовки зварюються по всій поверхні зіткнення (рис. 7.1,*а*). Вони закріплюються у рухомих затискувачах стикової машини. Живлення електричним струмом здійснюється через зварювальний трансформатор. Контактні поверхні розігріваються, заготовки стискуються механізмом осадки і відбувається зварювання. В результаті пластичної деформації і швидкої рекристалізації в зоні утворюються рекристалізовані зерна з

матеріалу обох деталей.

За способом виконання поділяють на зварювання опором (рис. 7.1,*б*) і зварювання оплавленням (рис. 7.1,*в*).

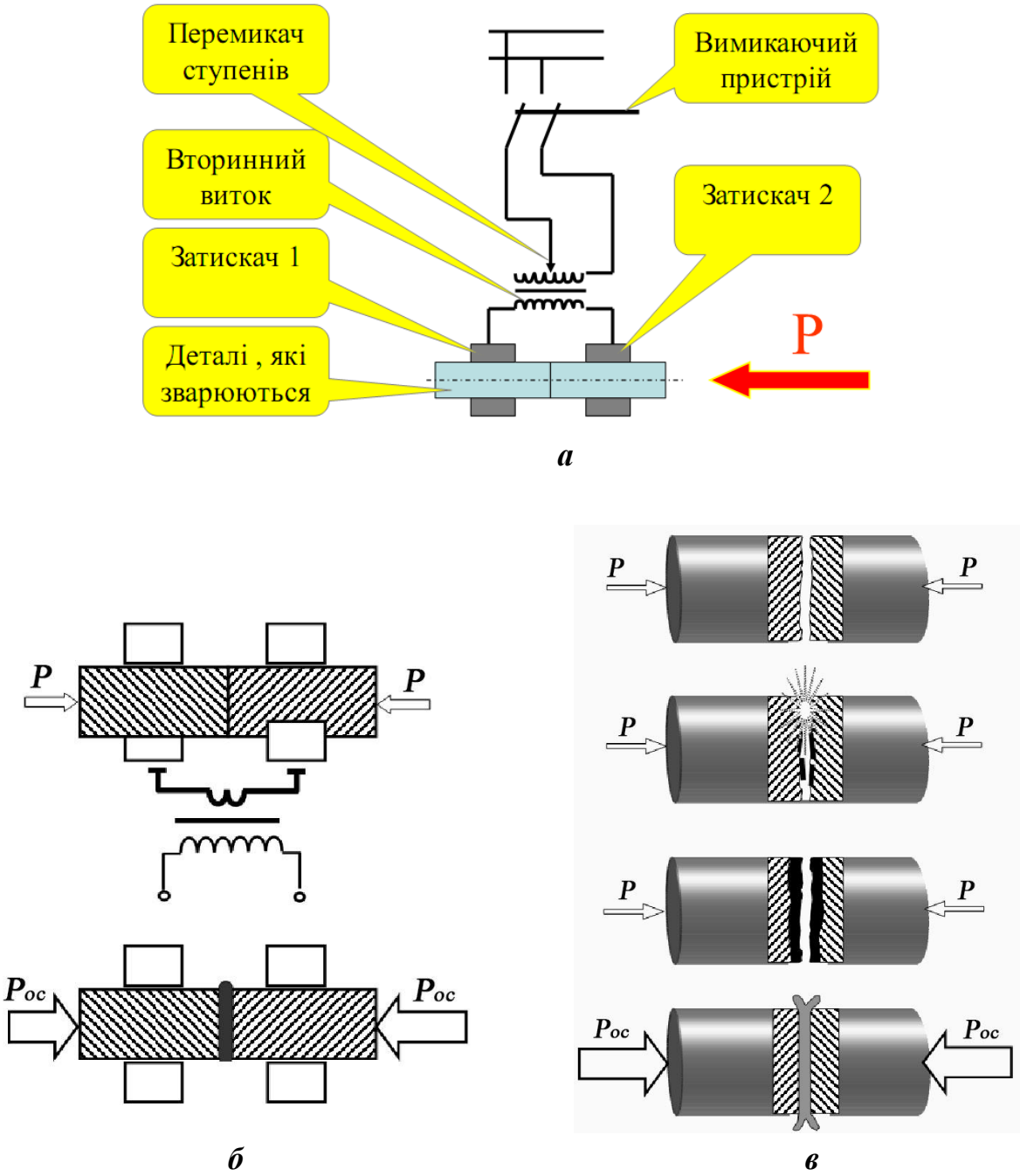


Рис. 7.1. Стикове контактне електрозварювання
а – схема стикового зварювання;
б – схема стикового зварювання опором; *в* – схема стикового зварювання оплавленням

При стиковому зварюванні опором торці заготовок обробляються таким чином, щоб поверхні їх були розташовані перпендикулярно напрямку зварювання, і гарно прилягали один до одного. При проходженні

електричного струму торці розігріваються до пластичного стану. Після сильного стискування одержується шов плавної конфігурації.

Застосовують для з’єднання виробів перерізом до 300 мм^2. При більшому перерізі не досягається рівномірного нагрівання по всьому перерізу стику і якість з’єднання погіршується.

Стикове зварювання оплавленням не передбачає обробку торців заготовок. В цьому випадку заготовки з нерівними торцями доводяться до контакту і крізь них пропускають електричний струм. Це викликає оплавлення торців і після стискування утворюється зварний шов. При цьому частина металу зі шва витискується у вигляді грата. У процесі оплавлення вирівнюються нерівності стику, а оксиди і забруднення видаляються, тому не потрібна підготовка місця з'єднання.

Якість зварних швів вище при зварюванні опором, але завдяки простій технології більш розповсюдженим є зварювання оплавленням.

Стиковим зварюванням можна зварювати заготовки з різним перетином, а також різнорідні метали (швидкорізальну і вуглецеву сталі, мідь та алюміній і т.д.). Широко застосовується для зварювання арматурних стрижнів, труб та інших виробів.

Для отримання арматурних зразків, що використовуються в лабораторній роботі, застосовується монтажна пила (рис. 7.2).

Рис. 7.2. Монтажна пила Dnipro-M CM-35

Монтажна пила CM-35 – універсальна модель для професійного застосування (будівництво, виробництво металоконструкцій). Вона перевершує кутову шліфувальну машинку з діаметром диску 230 мм у

зручності та швидкості роботи, а також їй під силу заготовки діаметром до 140 мм.

Точкове зварювання (рис. 7.3) полягає в тому, що заготовки затискують між електродами внапуск і пропускають електричний струм великої сили, що викликає розігрів місця контакту до термопластичного стану. Після сильного стискування одержують зварну точку або електрозаклепку.

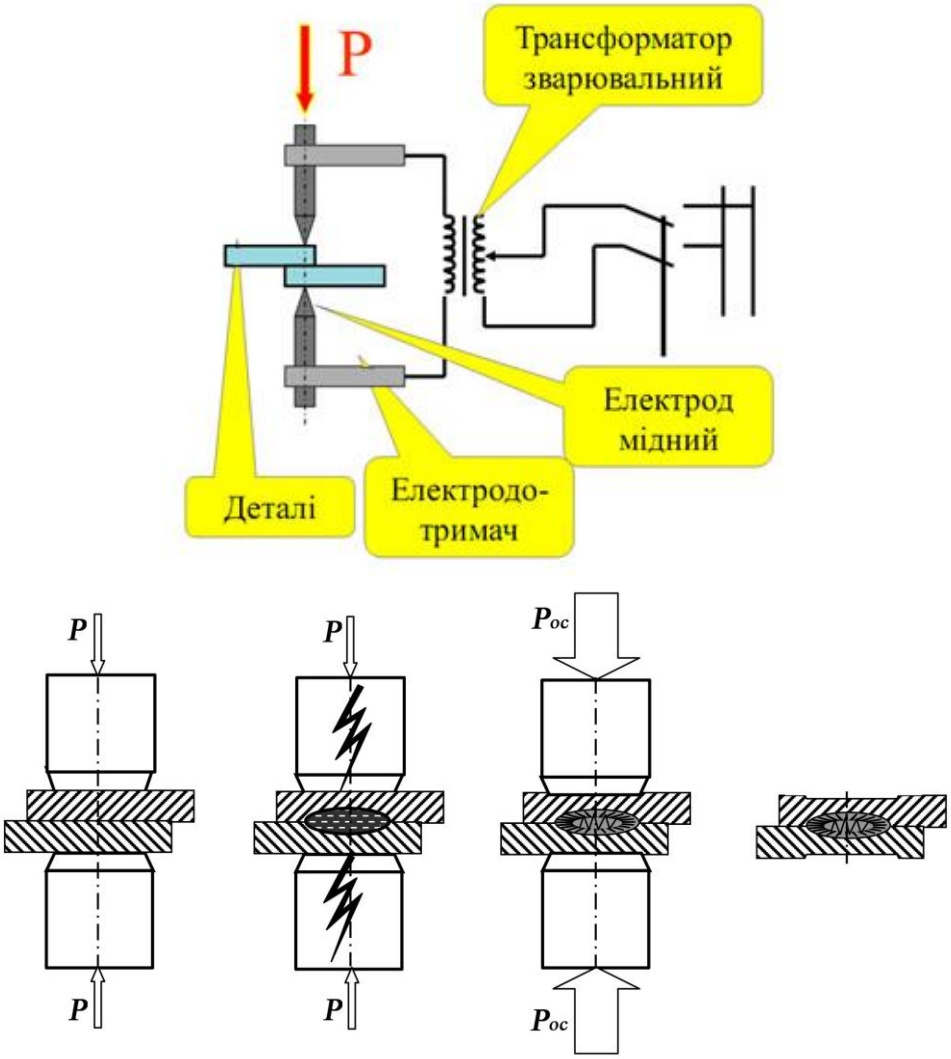


Рис. 7.3. Точкове контактне електрозварювання

Застосовують цей спосіб для зварювання сталі сумарна товщина листів якої не перевищує 10…12 мм.

Точкове зварювання в залежності від кількості і розташування електродів по відношенню до заготовок може бути двобічним і однобічним, одноточковим і багатоточковим.

Багатоточкове зварювання – різновид контактного зварювання, коли за один цикл зварюються кілька точок. Багатоточкові машини можуть зварювати від 2 до 200 точок одночасно.

Багатоточкове зварювання застосовують в основному в масовому виробництві, де потрібна велика продуктивність.

Таким чином зварюються кузови автомобілів і тракторів, арматурні каркаси і сітки. Зварене з'єднання має велику міцність і його можна застосовувати для виготовлення несучих конструкцій. Це зварювання дуже продуктивне.

Шовне (роликове) зварювання (рис. 7.4) дає можливість одержувати безперервні або перервні шви великої довжини внапуск. Воно полягає в тому, що листи металу товщиною до 5 мм затискують і прокатують між двома електродами у вигляді роликів. Крізь ролики проходить електричний струм великої сили, вони обертаються і на них діє стискуюче зусилля. В результаті метал у місці контакту з роликами розігрівається до термопластичного стану і утворюється суцільний шов, складений із окремих зварних точок, що перекривають одне одного. Спосіб дає можливість одержати герметичні шви і широко застосовується для одержання зварних труб, бензобаків, цистерн тощо.

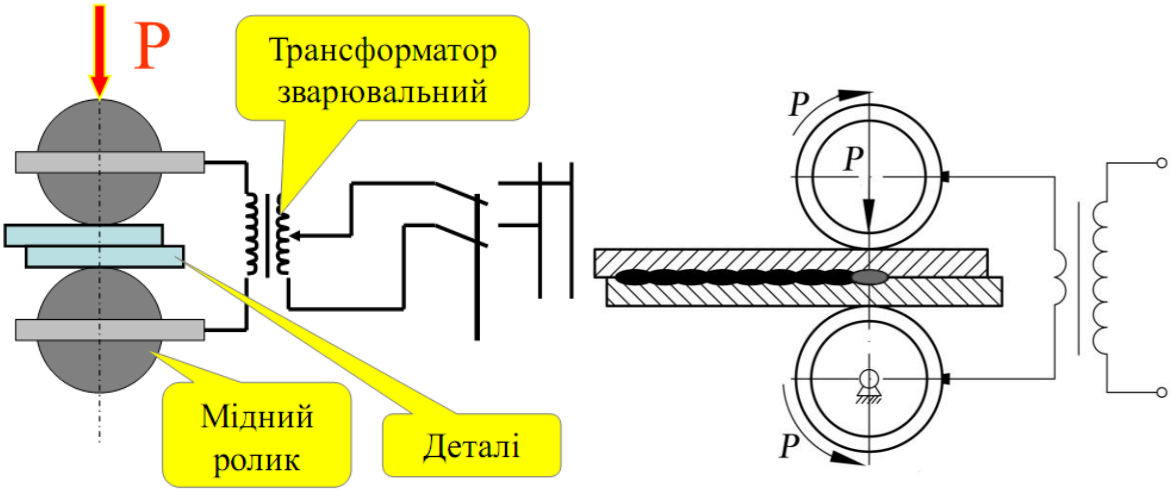


Рис. 7.4. Шовне (роликове) контактне електрозварювання

До основних параметрів режиму стикового контактного зварювання ***оплавленням*** відноситься припуск на осадку, сила струму, зусилля осадки, час зварювання.

Припуск на осадку і час зварювання вибирають за таблицею залежно від діаметру стрижнів, що зварюються (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Діаметр стрижня, *d*, мм	5	10	15	20	30	40
Припуск, мм	5	8	13	17	25	40
Час зварювання, с	2	3	6	10	20	40

Сила струму:

$$I = i \cdot F, \text{ А}, \tag{7.2}$$

де i – щільність струму (для низьковуглецевої сталі) при зварюванні оплавленням i = 25…30 А/мм^2 , при зварюванні опором i = 140...200 А/мм^2; F – площа перерізу заготовок, мм^2.

Зусилля осадки:

$$P = p \cdot F, \text{ МН}, \tag{7.3}$$

де p – тиск осадки для низьковуглецевої сталі: при зварюванні оплавленням p = 80...100 МПа, при зварюванні опором p = 10...30 МПа.

До основних параметрів точкового зварювання відносяться: параметри електродів, сила струму, зусилля стискування, час зварювання.

До параметрів електродів належать діаметр стержня D і діаметр контактної поверхні d. Вони визначаються залежно від товщини металу, що зварюється (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Товщина металу, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
D, мм	12	12	12	16	16	20
d, мм	4	5	5	6	7	8

Сила струму:

$$\boldsymbol{I = \frac{\pi d^2}{4} i}, \text{ А}, \tag{7.4}$$

де i – щільність струму. Для низьковуглецевої сталі i = 140...200 А/м^2.

Сила стискування:

$$\boldsymbol{P = \frac{\pi d^2}{4} p}, \text{ Н} \tag{7.5}$$

де p – тиск на електродах. Для низьковуглецевої сталі p = 80...100 МПа.

Час зварювання складає 0,5…2,3 с.

На рис. 7.5 показано сучасні машини контактного точкового зварювання.

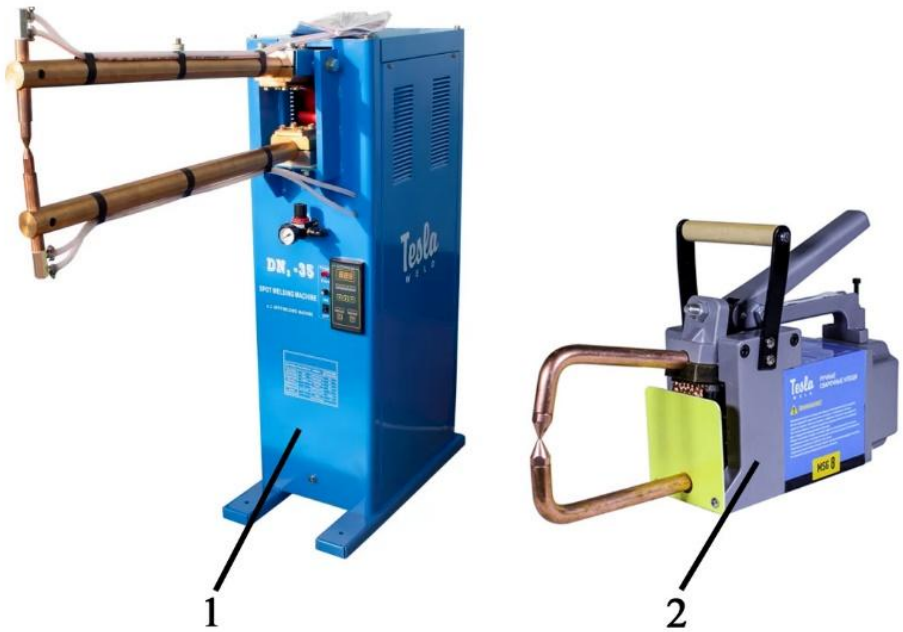


Рис. 7.5. Точкове зварювання:

1. – машина контактного зварювання Tesla Weld SWMA 25;

2. – апарат для ручного контактного зварювання Tesla Weld MSG 8

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Машина стикового зварювання АСИФ – 75У.

2.2. Машина точкового зварювання АТП – 10 і зварювальні кліщі.

2.3. Машина шовного (роликового) зварювання МШМ – 15.

2.4. Арматурні стрижні

2.5. Листова сталь та прутки.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з будовою і роботою обладнання для основних видів контактного зварювання.

3.2. Ознайомитись з технологією і робочими параметрами стикового, точкового і шовного зварювання.

3.3. Засвоїти практику зварювання і виконати різні види контактного зварювання арматури, листової сталі або прутків.

3.4. Визначити необхідні параметри стикового зварювання арматури оплавленням і точкового зварювання.

4. Результати роботи

4.1. Результати роботи занести до табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Режими зварювання при контактних видах зварювання

Параметр режиму зварювання	Формула для розрахунку параметра	Результат
для контактного стикового зварювання оплавленням		
Сила струму *I*, А ***Оплавленням –*** ***Опором -***	$I = i \cdot F$; (i = 25…30 А/мм²) (i = 140...200 А/мм²)	
Площа перерізу заготівки *F*, мм²	$F = \pi R^2$	
Зусилля осадки *P*, МН	$P = F \cdot p$	
для контактного точкового зварювання		
Діаметр стержня *D*, мм діаметр контактної поверхні *d*, мм і товщина металу, що зварюється	Вимірюються	
Сила струму *I*, А	$I = \frac{\pi d^2}{4} i$, (i = 140…200 А/мм²)	
Сила стискування *P*, Н	$P = \frac{\pi d^2}{4} p$, p = 80...100 МПа	
Час зварювання, с	0,5…2,3	

5. Контрольні запитання

5.1. Що таке контактне зварювання і чим воно відрізняється від дугового?

5.2. Які є різновиди контактного зварювання?

5.3. Які основні елементи входять до складу контактних машин?

5.4. Які основні параметри контактного зварювання?

5.5. Яка галузь застосування кожного із видів контактного зварювання?

5.6. Які основні переваги контактного зварювання над дуговим?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8
Газове зварювання

Мета роботи: ознайомитись з технологією і обладнанням для газового зварювання металів.

1. Основні теоретичні положення

Газове зварювання – зварювання при якому основний і присаджувальний метал розігріваються за допомогою полум'я, що утворюється при згоранні горючого газу в атмосфері кисню. Відноситься до термічного класу видів зварювання - за допомогою плавлення, в яких для розплавлення металу використовують теплову енергію.

У ролі горючих газів застосовуються пропан, бутан, природній газ, пари бензину, керосину та інші. Але найчастіше застосовують ацетилен C_2H_2, який при згорянні в кисні в порівнянні з іншими горючими газами утворює полум'я з найбільшою температурою (3000…3400ºС). Схема ацетиленокисневого полум'я показана рис. 8.1. Факел полум'я виконує захисні функції, покриваючи рідкий метал зварної ванни від проникнення кисню і азоту з повітря.

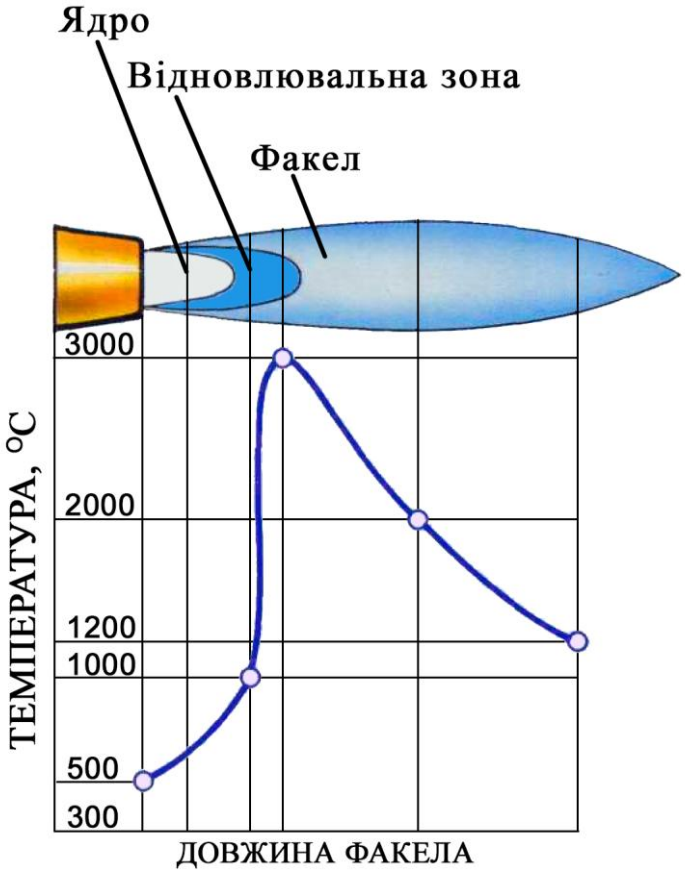


Рис. 8.1. Схема ацетиленокисневого полум'я

Ядро полум'я, яке містить суміш (ацетилену і кисню) $C_2H_2 + O_2$. Робоча або відновлювальна частина полум'я, яка складена з $CO + H_2$. Факел, який вміщує суміш продуктів згоряння CO_2, H_2 і повітря.

В залежності від значення $\boldsymbol{\beta}$, яке показує відношення об'єму ацетилену до об'єму кисню, полум'я може бути нормальним ($\boldsymbol{\beta}$ = 1…1,3), навуглецювальним ($\boldsymbol{\beta}$ > 1,3) і окислювальним ($\boldsymbol{\beta}$ < 1). Регулюють характер полум'я на око за його кольором. Окислювальне полум'я має світло-блакитний відтінок. Його використовують при зварювані латуней. Навуглецювальне полум'я має червонуватий відтінок, коптить. Його використовують при зварюванні чавуну. Нормальним полум'ям зварюють більшість сталей.

Ацетилен здобувають в спеціальних генераторах.

Ацетиленові генератори мають різні розміри і конструкції. Одним із характерних типів генераторів є АСП-1,25 (рис. 8.2).

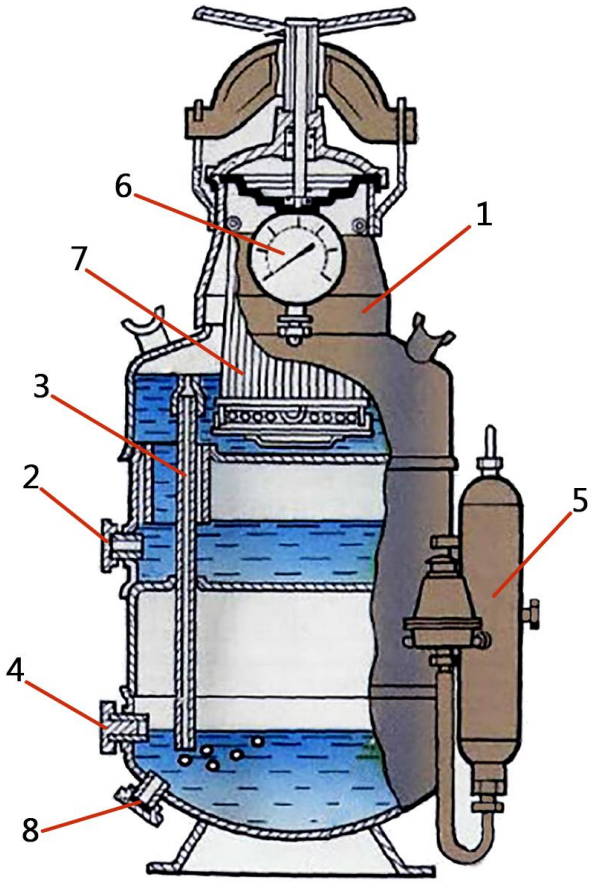


Рис. 8.2. Схема ацетиленового генератора АСП – 1,25
1 – корпус; *2* – зливна пробка; *3* – переливна трубка; *4* – кран рівня води; *5* – водяний затвор; *6* – манометр; *7* – корзина з CaC_2; *8* – зливна пробка

Цей генератор складається із сталевого корпусу *1*, в який заливається вода, і підвішеної корзини для карбіду кальцію *7*. Ацетилен, що виділяється при взаємодії карбіду кальцію з водою, накопичується у верхньому відсіку, проходить у нижній відсік, де очищується і охолоджується і через водяний затвор *5* проходить до пальника.

Якщо відбір ацетилену припиняється, тиск у верхньому відсіку зростає, завдяки чому знижується рівень води у відсіку і корзина виходить із контакту з водою.

Водяний затвор *5* – це пристрій для запобігання зворотних ударів, тобто проходження полум'я у генератор. Він містить зворотний клапан, який у випадку зворотного удару зачиняється і продукти згорання руйнують діафрагму і викидаються в атмосферу. Запобіжні пристрої можуть бути гідравлічними (рідинними) і сухими (рис. 8.3).

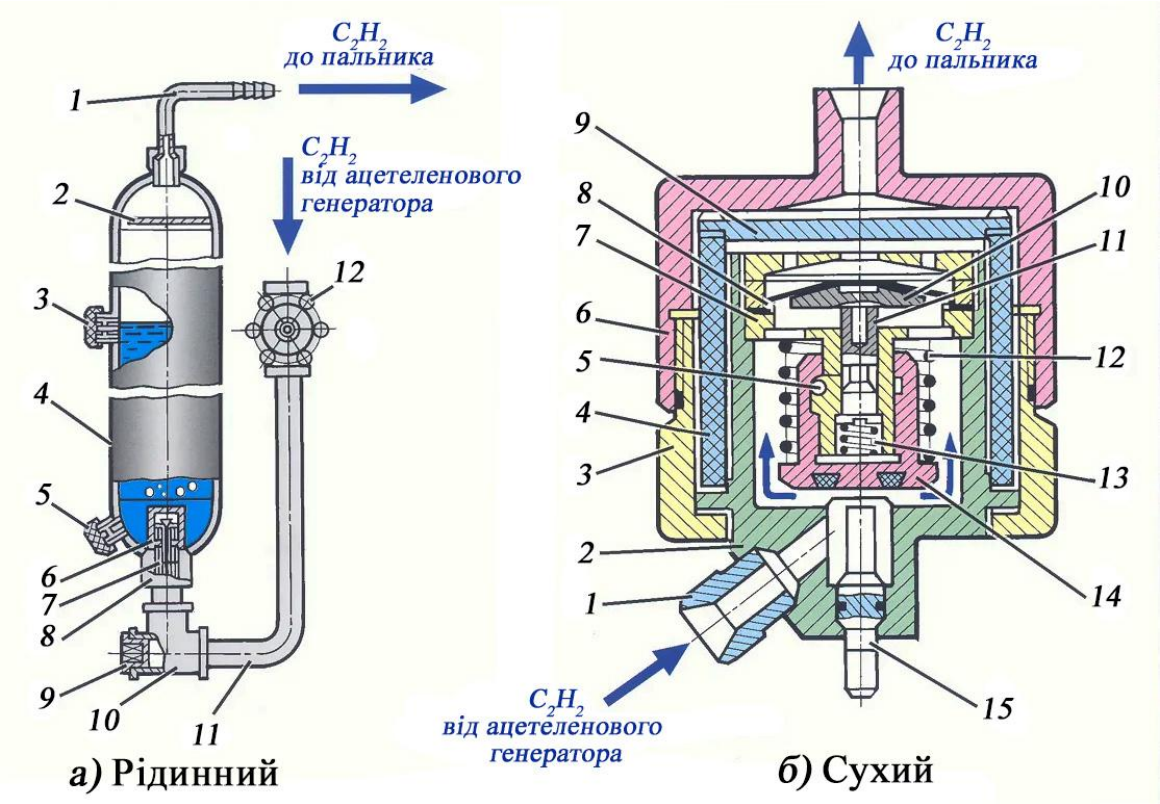


Рис. 8.3. Запобіжні пристрої

а) Рідинний: *1*. – вихідний штуцер, *2*. – розсіювач, *3*. – контрольний кран, *4*. – корпус, *5*. – пробка, *6*. – ковпачок, *7*. – кульковий клапан, *8*. – штуцер, *9*. – пробка, *10*. – трійник, *11*. – канал подачі газу, *12*. – вентиль.

б) Сухий: *1*. – штуцер, *2*. – внутрішній корпус, *3*. – гайка нижня зовнішнього корпусу, *4*. – полум'я поглинаючий елемент, *5*. – фіксуючі кульки, *6*. – гайка верхнього зовнішнього корпусу, *7*. – втулка, *8*. – мембрана, *9*. – відбійник полум'я, *10*. – сідло, *11*. – рухомий шток, *12,13*. – пружина, *14*. – відсічний клапан, *15*. – шток.

В рідинному запобіжному пристрої (рис. 8.3,а) ацетилен від генератора, подається знизу, відкриває кульку клапана *7*, проходить через шар води і подається до пальника, минаючи розсіювач *2*.

При зворотному ударі під дією тиску на воду кулька клапана *7* закриває вхідний отвір, запобігає проникненню полум’я у ацетиленовий генератор.

Перевага сухих запобіжних затворів (рис. 8.3,б) полягає в тому, що їх можна експлуатувати за будь-якої температури навколишнього середовища. Газ через ніпель *1* проходить у затвор, своїм тиском відтискає мембрану *8* від штоку *15* і через вихідний ніпель подається в пальник.

При зворотному ударі вибухова хвиля полум'я гаситься на відбійнику 9, а полум'я – в полум’я поглинаючому елементі *4*. Мембрана *8* притискається тиском полум'я до штоку *15* і закриває доступ горючого газу в корпус затвору. Під тиском горючого газу мембрана 8 тисне на шток 15, який переміщується вниз, внаслідок чого під впливом пружини 12 клапан 14 закриває вхідний отвір для доступу газу в затвор.

Кисень поставляють в ***кисневих балонах***, які мають об’єм 40 л і тиск до 150 МПа. Балони з киснем фарбують у блакитний колір. Для зниження тиску кисню від того, що є у балоні до потрібного (0,2…0,3 МПа) застосовують кисневий редуктор, який закріплюється на горловині балона (рис. 8.4).

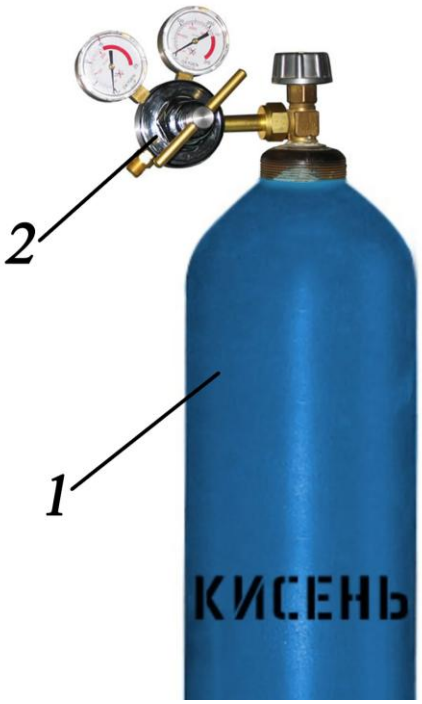


Рис. 8.4. Редуктор кисневий на балоні:
1.– кисневий балон (40 л); 2. – кисневий редуктор БКО-50-4ДМ

Кисневий редуктор має сталевий корпус, в якому розміщені дві камери: високого і низького тиску (рис. 8.5). Між цими камерами знаходиться клапан, який притискується до сідла за допомогою пружини. Другий кінець клапана з'єднаний з діафрагмою, яка теж підтискується пружиною.

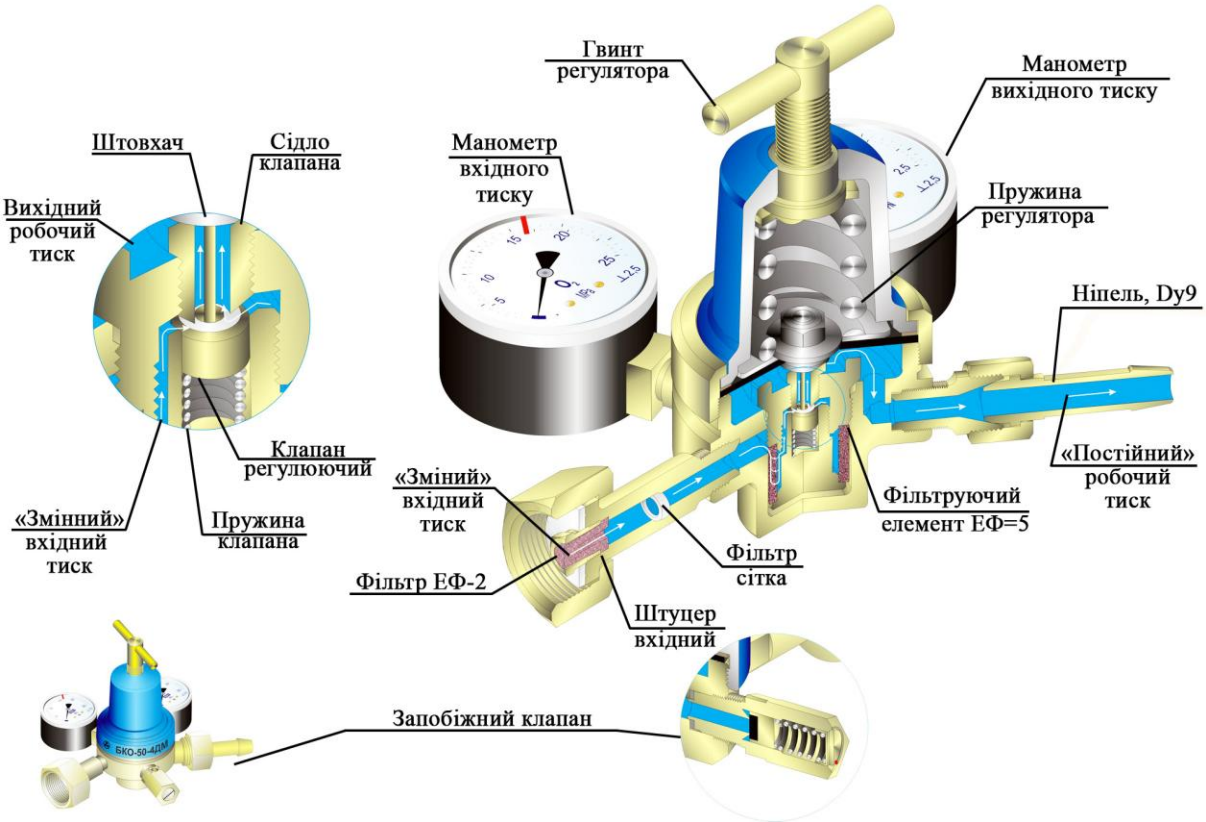


Рис. 8.5. Редуктор кисневий БКО-50-4ДМ

Якщо тиск на виході із редуктора стає менше за розрахунковий, діафрагма піднімає клапан і пропускає порцію кисню. Як тільки тиск перевищить розрахунковий, діафрагма відтискується і клапан зачиняється. Таким чином в процесі роботи клапан і діафрагма знаходяться в безперервному коливальному русі. Тиск на виході із редуктора регулюється гвинтом і контролюється за допомогою манометра.

Газове зварювання здійснюється за допомогою ***пальника***, який зварювальник тримає у руці. Пальники бувають різних розмірів і конструкцій. За способом подавання горючого газу в камеру змішування розрізняють інжекторні (низького тиску) (рис. 8.6) і безінжекторні (рівного тиску) (рис. 8.7). Найбільш поширені – інжекторні пальники.

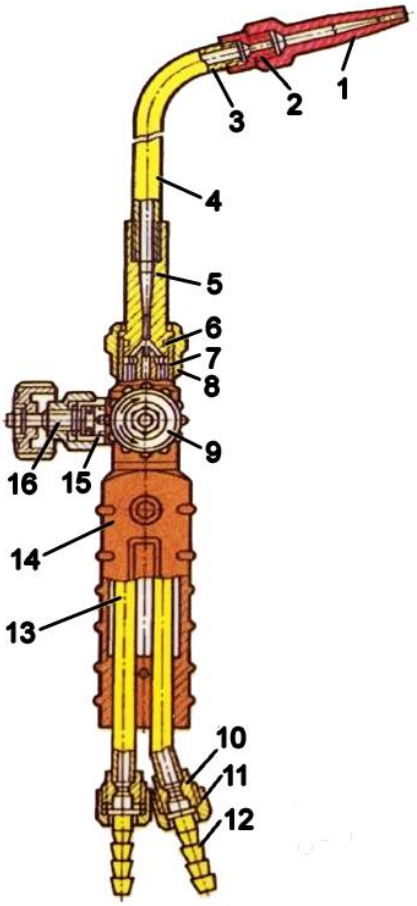


Рис. 8.6. Схема інжекторного пальника

1 – мундштук; *2* – ніпель мундштука;
3 – наконечник; *4* – трубчастий мундштук;
5 – змішувальна камера; *6* – гумове кільце;
7 – інжектор; *8* – накидна гайка;
9 – ацетиленовий вентиль; 10 – штуцер;
11 – накидна гайка; 12 – шланговий ніпель;
13 – трубка; 14 – рукоятка;
15 – сальникове набивання;
16 – кисневий вентиль

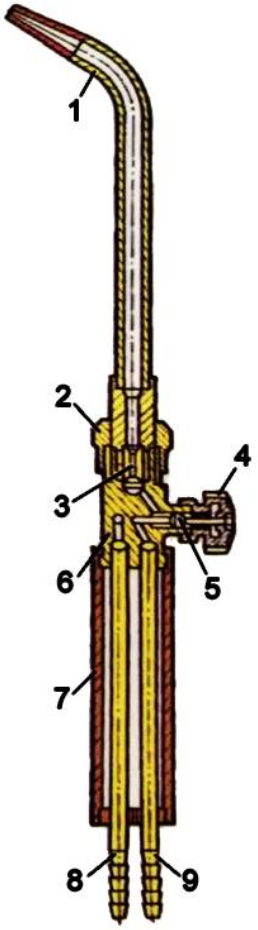


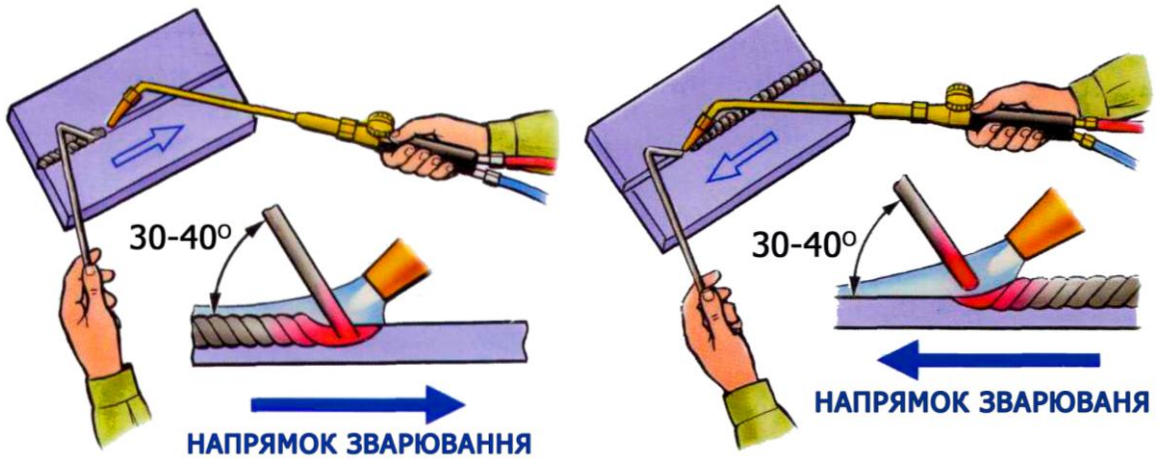
Рис. 8.7. Схема безінжекторного пальника

1 – наконечник; *2* – накидна гайка;
3 – дозуючі канали; *4* – вентиль;
5 – голчастий шпиндель; *6* – корпус;
7 – рукоятка; *8* – кисневий ніпель;
9 – ацетиленовий ніпель

Конструкція пальника повинна забезпечувати ефективне змішування газів і створення однорідної газокисневої суміші. В інжекторних пальниках це досягається за допомогою інжектора – вузького каналу, в якому швидкість проходження кисню різко зростає, внаслідок чого утворюється розрядження. За рахунок цього забезпечується всмоктування ацетилену (тиск якого 0,001…0,15 МПа) і його активне змішування з киснем.

Існує два способи газового зварювання – лівим і правим способом. Відмінності між способами в напрямку руху пальника і присадочного дроту.

При зварюванні правим способом (рис 8.8,*а*) пальник спрямований в бік шва який кристалізується. Переміщення зліва направо. Зварювання правим способом рекомендують застосовувати для деталей товщиною понад 3 мм. У деталей повинна бути оброблення крайок, а при великих товщинах кут оброблення зменшують. Теплова енергія більш зосереджена, ніж при зварюванні лівому способі. Якщо товщина деталей більше 8 мм роблять коливальні рухи мундштуком пальника. Деталі тонше зазначеної товщини можна робити без маніпуляцій мундштуком. Кінець присадочного дроту слід тримати зануреним в зварювальну ванну, переміщати разом з пальником та виконувати спіралеподібні рухи.



а ***б***

Рис. 8.8. Способи газового зварювання
а – правий; *б* – лівий

При зварюванні лівим способом (рис. 8.8,*б*) пальник спрямована в бік крайок. Напрямок зварювання зліва направо. Цей спосіб застосовують для з’єднання деталей не товще 3 мм або для легкоплавких металів.

Присадковий дріт ведуть перед полум'ям, а його кінець повинен знаходиться в відновлювальної зоні зварювального полум'я. При зварюванні даними способом факел полум'я гірше захищає метал від впливу з навколишнім середовищем.

Основними параметрами газового зварювання є витрати ацетилену і кисню, діаметр присаджувального прутка, кут нахилу пальника до поверхні заготовки.

Витрати ацетилену A і визначаються:

$$A = k \cdot S, \text{ л/год}, \tag{8.1}$$

де S – товщина заготовки, мм; k – коефіцієнт пропорційності (для сталі – 100…120, для міді – 160, для алюмінію – 75).

Витрати кисню приймають для нормального полум'я:

$$K = (1{,}1 - 1{,}2) \cdot A, \text{ л/год}. \tag{8.2}$$

Діаметр присаджувального прутка:

$$d = 0{,}5 \cdot S + 1, \text{ мм, якщо } S \le 10 \text{ мм};$$
$$d = S, \text{ якщо } S > 10 \text{ мм}. \tag{8.3}$$

Кут нахилу пальника α до поверхні заготовки приймають:

S, мм	**> 1**	**1…3**	**5…7**	**10…12**	**> 15**
α, град	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**

Газове зварювання застосовується для зварювання заготовок із сталі і кольорових металів невеликої товщини (< 3 мм) в умовах одиничного виробництва, ремонту або монтажу обладнання.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Макет ацетиленового генератора.

2.2. Кисневий балон з редуктором.

2.3. Газові пальники.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з конструкцією і принципом дії обладнання для газового зварювання.

3.2. Ознайомитись з основами технології газового зварювання.

3.3. Розглянути методику вибору основних параметрів зварювання.

4. Результати роботи

4.1. Результати визначення основних параметрів занести до зошита.

5. Контрольні запитання

5.1. Які гази застосовують для газового зварювання?

5.2. Як здобувають ацетилен при газовому зварюванні ?

5.3. З допомогою чого регулюють тиск кисню?

5.4. Що тримає зварювальник у лівій і правій руці?

5.5. Якими основними параметрами характеризується газове зварювання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9
Газове і плазмове різання металів

Мета роботи: ознайомитись з технологією і обладнанням для газового і плазмового різання металів.

1. Основні теоретичні положення

Газове (кисневе) різання – це різання сталі, що базується на її властивості згорати в струмені кисню з виділенням великої кількості тепла. Для початку різання метал потребує розігріву до температури початку горіння металу (1000…1100 ^{0}С), що здійснюється з допомогою газокисневого полум'я (пропан-бутан, ацетилен, гас). Метал горить при контакті з пальником, а потім випаровується у вигляді оксиду металу.

Основною умовою газового різання є умова, при котрій температура горіння металу менша за температуру його плавлення і плавлення основних оксидів повинно відбуватися при температурі нижче температури займання. Виходячи з цієї умови сталі з невеликою кількістю вуглецю ріжуться гарно, а чавуни – не ріжуться.

Різання ацетиленом є надзвичайно ефективним методом завдяки його високотемпературним властивостям. Його додатковою перевагою є мобільність, висока якість різання металу та можливість механізації процесів різання з їх використанням. Цей метод широко застосовується в будівництві, машинобудуванні та під час металообробки, оскільки дає змогу ефективно різати товсті листи металу, створюючи чистий різ.

Перевагою є висока швидкість роботи. Різання за допомогою киснево-ацетиленового пальника має відносно низькі експлуатаційні витрати.

Однак газова різка менш підходить для різання тонких або легкоплавких металів, оскільки може викликати значне нагрівання і деформацію країв.

Різак має конструкцію, подібну до пальника, але відрізняється наявністю додаткової трубки з краном, крізь яку проходить ріжучий кисень (рис.9.1). Наконечник пальника зігнутий під кутом 90^0.

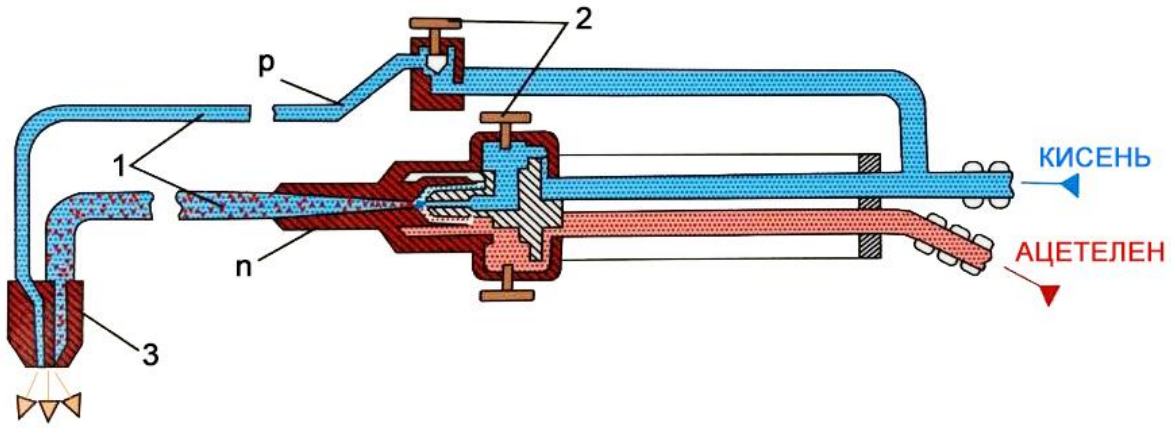


Рис. 9.1. Схема газокисневого різака:
p – різальна частина; *n* – підігрівальна частина;
1 – наконечники; *2* – вентилі; *3* – мундштуки;

Плазмове зварювання, зварювання стислою дугою, – зварювання плавленням, за допомогою якого деталі, що з'єднуються нагріває плазмова дуга, стиснена потоком газу чи зовнішнім магнітним полем, або плазмовим струменем. Використовується властивість плазмової дуги глибоко проникати в метал. Виконується за допомогою плазмотрона (рис. 9.2).

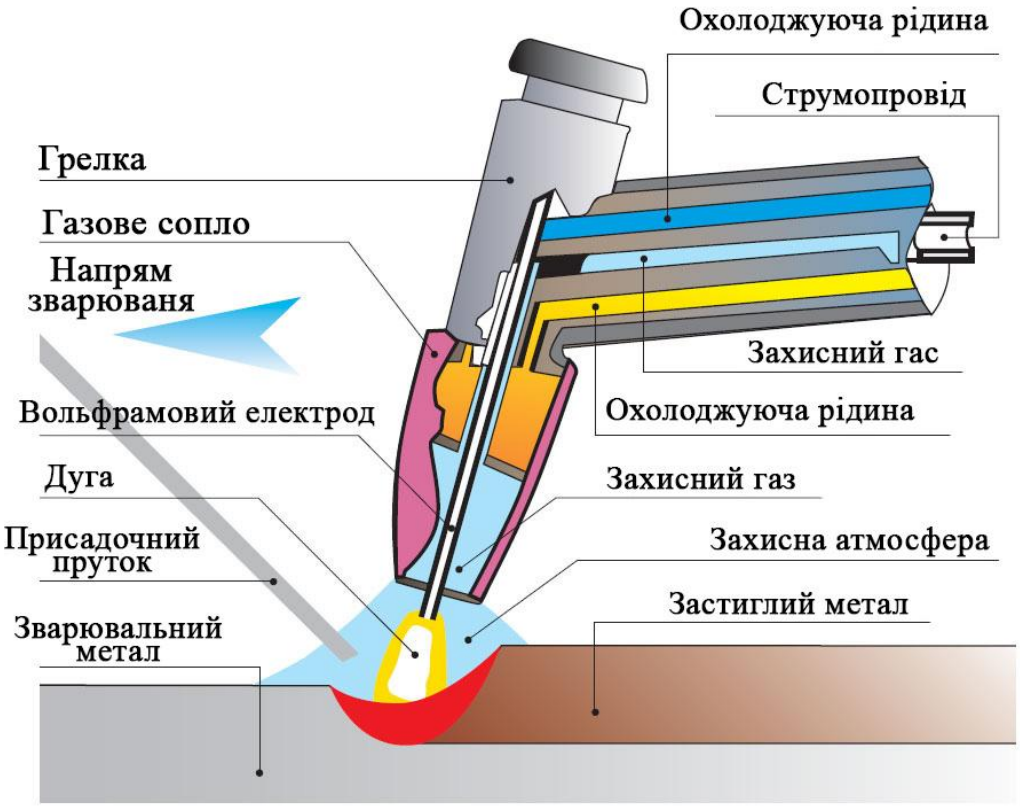


Рис. 9.2. Схема плазмового зварювання

Плазма – це іонізований квазінейтральний газ, що утворює нейтральні молекули та заряджені частинки. Плазма виникає у разі нагрівання квазінейтрального газу (наприклад кисню) до досить високої температури за його активної іонізації. Завдяки рухомості частинок у газі плазма має властивість електричного струму.

При плазмовому зварюванні ***дугою прямої дії*** об'єкт зварювання включається до електричного зварювального ланцюга, де виконує роль анода. При плазмовому зварюванні ***струменем*** об'єкт зварювання не приєднується до джерела живлення і нагрівається лише за рахунок теплоти плазми.

Сприятлива форма ванни, що утворюється, дозволяє зварювати метал товщиною до 10…15 мм без спеціального оброблення кромок. Зварювання плазмовою дугою відрізняється високою продуктивністю і унаслідок великої стабільності горіння дуги, хорошою якістю. Малопотужна плазмова дуга при струмах 0,1…40 А є зручною для зварювання тонких листів (0,05 мм) при виготовленні мембран, сильфонів, теплообмінників з Ta, Ti, Mo, W, Al.

Плазмове різання – це один зі способів розкроювання металу, за якого як різальний інструмент виступає струмінь плазми. Між електродом і соплом запалюється електрична дуга, у сопло подається газ (повітря або кисень) тиском 6…8 атмосфер, під час взаємодії з електричною дугою газ нагрівається до температури 5000…30000 °С і перетворюється на плазмову струмінь (рис. 9.3).

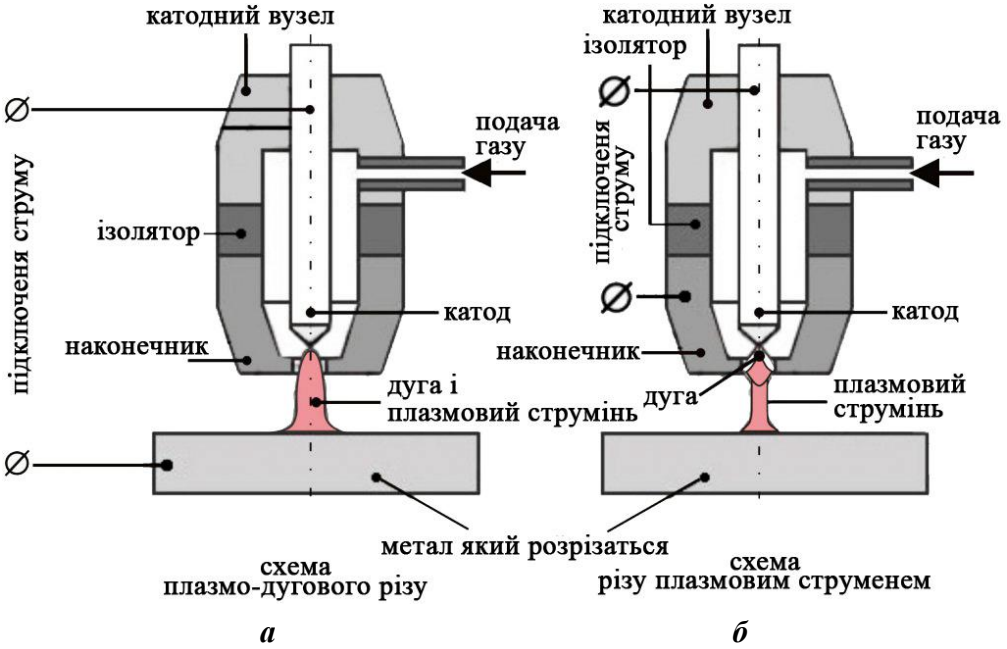


Рис. 9.3. Схеми плазмового різу:
а. схема плазмо-дугового різу; *б*. схема різу плазмовим струменем

Гази, які використовуються в плазмовому різанні:

✓ Повітряно-плазмове різання.

У цьому разі, як плазмоутворюючий газ використовується повітря. Це, мабуть, найдешевший варіант плазмового розкрою. Повітря підходить для різання майже всіх видів металів: вуглецева і легована сталь, мідь, латунь та ін. Повітря дає середні показники щодо якості та швидкості розкрою та підходить для більшості користувачів плазмового різання (рис. 9.4).

✓ Кисневе плазмове різання.

Кисень використовується в більш професійних системах плазмового різання, де необхідно отримати найкращу якість і найбільшу швидкість розкрою. Говорячи про якість, ми маємо на увазі перпендикулярність різання й мінімальну кількість шлаку (облою) з нижньої сторони деталі, що вирізується.

✓ Плазмове різання з використанням захисних газів.

Ця технологія використовується в передових професійних системах плазмового розкрою. Як різальний газ можуть бути використані: Кисень (O_2), Азот (N_2), Аргон (Ar) і повітря. Ці ж гази можуть використовуватися як захисні, у певних пропорціях. Використання захисних газів дає змогу наблизити плазмове різання товстих заготівок (до 50 мм) до якості лазерної.

На рис. 9.5 показане сучасне обладнання для плазмової різки.

Рис. 9.3. Обладнання для плазмової різки:
1. – компресор поршневий з прямим приводом AC-50V,
2. – плазморіз CUT-40, 3. – плазмотрон

Найбільш часто використовувані показники плазмового різання:

✓ Товщина розрізуваного металу 0,5…70 мм. Залежить від струму різання.

✓ Товщина плазмового струменя 0,5…2 мм. Залежить від товщини металу.

✓ Швидкість плазмового різання 250…10000 мм/хв. Залежить від струму різання та товщини металу.

✓ Тиск газу 5…12 атм. Залежить від потужності джерела плазми.

✓ Струм плазмового різання 0…800 А. Залежить від товщини металу.

2. Необхідні прилади і матеріали

2.1. Макет ацетиленового генератора.

2.2. Кисневий балон з редуктором.

2.3. Газові різаки.

2.4. Компресор поршневий з прямим приводом AC-50V.

2.5. Плазморіз CUT-40.

2.6. Плазмотрон.

3. Послідовність виконання роботи

3.1. Ознайомитись з конструкцією і принципом дії обладнання для газового і плазмового різання.

3.2. Ознайомитись з основами технології газового і плазмового різання.

3.3. Розглянути методику вибору основних параметрів різання.

4. Результати роботи

4.1. Результати визначення основних параметрів занести до зошита.

5. Контрольні запитання

5.1. На чому засноване газове різання?

5.2. Чим відрізняється газокисневий різак від пальника?

5.3. Які переваги киснево-ацетиленового різання?

5.4. Що таке плазмове різання металу?

5.5. Які гази використовуються в плазмовому різанні?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаленко В.О. Метали і зварювання у будівництві: методичні вказівки до виконання індивідуального завдання / В.О. Шаленко, Б.В. Корнійчук, А.А. Маслюк. – Київ: ЦП «Компринт», 2024. – 44 с.

2. Шаленко В.О. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів (модуль 1): методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / В.О. Шаленко, А.А. Маслюк. – Київ: КНУБА, 2023. – 72 с.

3. Шаленко В.О. Метали і зварювання у будівництві: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / В.О. Шаленко, Б.В. Корнійчук, А.А. Маслюк. – Київ: ЦП «Компринт», 2023. – 60 с.

4. Добровольський О.Г. Особливості зварювання сталей. / О.Г. Добровольський, В.А. Косенко, В.О. Шаленко, А.А. Маслюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ: КНУБА, 2018. – Вип. 92. – С. 49-55.

5. Корнійчук Б.В. Технологія машинобудування та верстатне обладнання автоматизованого виробництва (модуль 1): методичні вказівки та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи / Б.В. Корнійчук, А.Т. Свідерський, В.О. Шаленко. – Київ: КНУБА, 2023. – 40 с.

6. Богуславський В.Є. Проектування заготовок і технології їх виготовлення: навчальний посібник / В.Є. Богуславський, В.М. Гарнець, В.О. Шаленко. – Київ: КНУБА, 2016. – 140 с.

7. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А., Краснощок І.Р. Сучасні методи різу металу. // Збірник тез доповідей XXIV Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн». (10-11 квітня 2025 року). – Київ: НУБіП України, 2025. – С. 103-105.

8. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Скітович О.П. Особливості застосування зварювального обладнання у навчальному процесі КНУБА. // Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VI Міжнародної конференції, Київ: КНУБА, 16 листопада 2023 року. – Київ: ЦП «КОМПРИНТ», 2024. – С. 443-445.

9. Шаленко В.О., Маслюк А.А., Стукало К.Є. Зварювання труб електродуговим методом. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної онлайн конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», НУБІП України. – К.: НУБіП України, 2021. – С. 189, 190.

Навчально-методичне видання

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ (МОДУЛЬ 2). ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальностей G9 «Прикладна механіка»,
G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями)»

Укладачі **ШАЛЕНКО** Вадим Олегович,
ПОЛІЩУК Андрій Григорович,
МАСЛЮК Андрій Анатолійович

Підписано до друку 20.06.2025 р. Зам. № 621.
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Наклад 50 прим. Ум. друк. арк. 4,9.
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Васильківська, 32
067-209-54-30, 097-533-18-07
email: komprint@ukr.net