



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет
науки і технологій

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

В авторській редакції

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчально-методичні рекомендації до практичних робіт
з розділу IV «Зварювальні роботи»

Електронне видання

ДНПРО
2025

Упорядник:
С. О. Плітченко, І. О. Вакуленко

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми

133.1.05.24 «Підйомно-транспортні, будівельні та колійні машини»

Протокол № 4 від 20.06.2024

133.1.04.24 «Експлуатація та ремонт техніки Держспецтрансслужби»

Протокол № 1 від 24.01.2025

274.1.03.24 «Технічна експлуатація та сервіс автомобілів»

Протокол № 2 від 29.11.2024

Т 38 Технологічний практикум : навчально-методичні рекомендації до практичних робіт з розділу IV «Зварювальні роботи» / упоряд. С. О. Плітченко, І. О. Вакуленко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 28 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами денної форми навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та 274 «Автомобільний транспорт» під час виконання практичних робіт з дисципліни «Технологічний практикум».

Навчально-методичні рекомендації містять основні теоретичні положення для засвоєння матеріалу, інструкції з техніки безпеки в майстерні зварювання, опис основного устаткування та обладнання для зварювальних робіт, інструкції до виконання практичних робіт, вимоги до аналізу результатів та оформлення звіту.

Іл. 16. Табл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБІТ В МАЙСТЕРНІ ЗВАРЮВАННЯ	5
2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБІТ В МАЙСТЕРНІ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	5
2.1. Основна небезпека при виконанні електрозварювальних робіт	5
2.2. Електробезпека	6
2.3. Захист зору і відкритої поверхні шкіри	6
2.4. Захист від отруєння шкідливими газами, пилом та випаровуваннями при зварюванні	7
2.5. Захист від опіків краплинами рідкого металу та шлаку	7
3. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАННЯ	8
4. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ:	
Практична робота № 1	
Робоче місце зварювальника	11
Практична робота № 2	
Запалювання зварювальної дуги та рухи електрода при зварюванні	15
Практична робота № 3	
Наплавлення валика	19
Практична робота № 4	
Виконання зварного з'єднання	22
5. ВИМОГИ ДО ЗВІТУ	24
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	26
ДОДАТОК	27

ВСТУП

На сьогоднішній день зварювання залишається провідним процесом у виготовленні конструкцій та виробів практично у всіх галузях промисловості.

За статистикою, найбільш поширеною технологією серед інших є електродугове зварювання різного ступеня автоматизації, яке:

- дозволяє отримувати зварні з'єднання з високим рівнем механічних властивостей;
- має підвищену продуктивність і простоту процесу зварювання;
- забезпечено широким вибором обладнання, витратних матеріалів та їх відносно низькою вартістю;
- забезпечує можливість створення складних форм та структур деталей чи вузлів, які не можуть бути виготовлені іншими технологіями.

Зазначені переваги роблять електродугове зварювання важливим інструментом не тільки при виготовленні різноманітних конструкцій, але й при відновленні деталей та вузлів машин, що заощаджує кошти та час на можливій їх заміні.

Дисципліна «Технологічний практикум» відноситься до обов'язкової компоненти освітніх програм «Підйомно-транспортні, будівельні та колійні машини», «Експлуатація та ремонт техніки Держспецтрансслужби» та «Технічна експлуатація та сервіс автомобілів».

Розділом «Зварювання металів» цієї дисципліни передбачається вивчення теоретичних основ та набуття практичних навичок з застосування технології ручного електродугового зварювання. Для закріплення теоретичних знань та набуття необхідних умінь програмою передбачається виконання 4 практичних робіт. В наведених роботах студенти отримують знання з суті зварювальних процесів й практичні навички з виконання зварювальних робіт.

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт сприяють досягненню студентами наступних очікуваних результатів навчання: вміння організувати робоче місце зварювальника, вміння підготовлювати заготовку до зварювання з застосування слюсарного інструменту; вміння обирати необхідне зварювальне обладнання та визначати основні параметри режимів його роботи; вміння виконувати наплавлення валика на металеву поверхню та зварювання заготовок в нижньому положенні; здатність аналізувати якість проведених робіт та застосовувати прості засоби технічного контролю для оцінювання параметрів валика, шва. Отримані знання та навички будуть необхідні для подальшого успішного вивчення таких професійних дисциплін, як «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство», «Деталі машин», «Технологія виробництва і ремонту машин» та ін.

Методичні рекомендації містять положення з охорони праці в майстерні зварювання, основні теоретичні відомості для підготовки до виконання практичних робіт та послідовність їх виконання, порядок оформлення звіту тощо.

1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ СТУДЕНТІВ В МАЙСТЕРНЯХ КАФЕДРИ

Згідно з правилами внутрішнього розпорядку до роботи в майстерні допускаються студенти, що склали екзамен з електробезпеки (на I групу) та пройшли інструктаж з охорони праці (ОП), про що заносяться дані у відповідний журнал.

При недотриманні вимог охорони праці студент відстороняється від виконання практичних занять. Наступний допуск дозволяється тільки після повторного проходження інструктажу з ОП та спеціального дозволу від декану факультету.

Під час перебування в майстернях кафедри студент повинен:

- а) бути дисциплінованим, бережно відноситись до обладнання, інструменту та спецодягу, виконувати вимоги правил ОП;
- б) забороняється приходити на практику у взутті, що має високі підбори та відкритого типу (сандали, та ін.);
- б) під час роботи студент повинен повсякчас знаходитись на своєму робочому місці, бути уважним та виконувати всі вказівки майстра (викладача);
- в) виконувати роботу дозволяється тільки після отримання завдання від майстра та ознайомлення з методами та прийомами його виконання;
- г) забороняється працювати на зіпсованому обладнанні або зіпсованим інструментом;
- д) при перервах у роботі необхідно вимикати обладнання;
- е) при обробці зварних швів від шлаку та бризок металу застосовувати захисні окуляри з прозорим склом;
- ж) переносити нагріті елементи за допомогою спеціальних пристосувань.

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБІТ В МАЙСТЕРНІ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

2.1. Основна небезпека при виконанні електрозварювальних робіт

Основною небезпекою, що призводить до виробничих травм при електрозварювальних роботах, є:

- а) ураження електричним струмом;
- б) ураження очей і відкритої поверхні шкіри інтенсивним випромінюванням електричної дуги;
- в) отруєння шкідливими газами, що виділяються при зварюванні;
- г) опіки краплинами рідкого металу та шлаку;
- д) механічні травми при складально-зварювальних роботах.

2.2. Електробезпека

Ураження електричним струмом відбувається при доторкуванні до струмопровідних частин електропроводки і зварювального обладнання. Електричний струм, що проходить через тіло людини, величиною від 0,05 А (50 Гц) може викликати тяжкі травми, які можуть бути несумісні з життям.

Електробезпека забезпечується:

- надійною електроізоляцією електрозварювального обладнання, зварювальних кабелів та проводів мережі;
- надійним заземленням електрообладнання та його елементів;
- використанням захисної огорожі та автоблокуванням;
- обмеженням холостого ходу джерела живлення;
- використанням індивідуальних засобів захисту (робота в сухому і міцному одязі, спеціальних зварювальних рукавицях та черевиках без металевих цвяхів чи шпильок);
- додержанням умов виконання робіт (використання гумових килимків, шоломів, взуття, а також низьковольтного освітлення при роботі в приміщеннях з підвищеною вологістю або всередині металевих конструкцій);
- заборонаю проведення робіт під час дощу та снігопаду на відкритих майданчиках.

При ураженні електричним струмом потерпілому необхідно надати першу допомогу: звільнити від дії електричного струму (з дотриманням техніки безпеки), забезпечити доступ свіжого повітря. Якщо потерпілий втратив свідомість, потрібно привести його до тями, негайно викликати швидку допомогу. У разі необхідності, до прибуття швидкої допомоги, необхідно зробити штучне дихання.

2.3. Захист зору і відкритої поверхні шкіри

Електрична зварювальна дуга утворює широкий спектр електромагнітного випромінювання. За умовним розподілом, тільки від трьох складових випромінювання застосовуються заходи безпеки. До них відносяться: світлове, ультрафіолетове та інфрачервоне.

Світлові промені діють осліплююче, тому що їх яскравість значно перевищує норму, допустиму для людського ока (до 10 000 разів).

Ультрафіолетові промені навіть при короткочасній дії на протязі декількох секунд викликають захворювання очей, що називають електроофтальмією. Воно супроводжується різким болем, щемом в очах, сльозливістю, спазмами повік. Довготривала дія ультрафіолетового випромінювання спричиняє опіки шкіри.

Інфрачервоні промені спричиняють теплову дію і викликають опіки шкіри.

Для захисту очей та шкіри обличчя від променів зварювальної дуги та бризок розплавленого металу застосовують зварювальні щитки і маски, масою не більше 0,6 кг. Вони виготовляються з легкого ізоляційного матеріалу (фібри) та фарбуються в темний матовий колір. За процесом зварювання спостерігають через спеціальне темне захисне скло (світлофільтр), що поглинає більшу частину електромагнітного випромінювання. На підприємствах України використовують світлофільтри серії «С», які поділяються на класи в залежності від сили струму дуги та використовуваної технології. Для ручного дугового зварювання плавким електродом використовують світлофільтри в залежності від струму зварювання: С-3 (до 15 А), С-4 (15 – 30 А), С-5 (30 – 60 А), С-6 (60 – 150 А), С-7 (150 – 275 А) та інші. Для захисту світлофільтра від бризок металу з зовнішньої сторони його екранують прозорим склом.

2.4. Захист від отруєння шкідливими газами, пилом та випаровуваннями при зварюванні

Зварювальні роботи супроводжуються виділенням газів, пару та диму. В результаті робоче приміщення забруднюється отруйними речовинами, основні з них це оксиди вуглецю, азоту, сполуки фтору та ін.

До симптомів отруєння відносять головний біль, запаморочення, нудоту, слабкість, прискорення дихання та ін.

Для боротьби з забрудненням повітря, використовуються різноманітні заходи. Заслужують на увагу застосування технологій по відновленню атмосфери в робочому приміщенні. Використання припливно-витяжної вентиляції повинно забезпечувати ефективний відвід шкідливих газів навколо робочого місця зварювальника. Слід надавати перевагу в використанні розхідних матеріалів, штучних електродів і порошкового дроту, що сприятимуть утворенню меншої кількості шкідливих речовин та ін..

2.5. Захист від опіків краплинами рідкого металу та шлаку

Для попередження опіків краплинами металу або шлаку використовують спеціальний одяг, рукавиці зварювальника, головний убір, що виготовляють з важко займистих тканин. Опіки можливо отримати при необережному поводженні з недопалком електрода, при зачищенні поверхні шву від шлаку, при перенесенні зварювальних виробів.

Недопалок потрібно видаляти з електродотримача після охолодження, зі складанням його в спеціальному місці. Пересування розігрітого виробу після зварювання, зачищення зварних швів, здійснюється з застосуванням спеціальних кліщів. При збиванні шлаку очі зварювальника обов'язково захищають спеціальними окулярами.

3. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАННЯ

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємних з'єднань шляхом встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що сполучаються між собою, при їх нагріванні або пластичному деформуванні.

Велика кількість технологій зварювання заснована на розплавленні тонкого шару з'єднувальних елементів. Використання електричної дуги в якості джерела енергії для розплавлення обмеженого об'єму з'єднувальних елементів, отримала найбільшого розповсюдження, під загальною назвою електродугових технологій зварювання.

В порівнянні з іншими способами зварювання плавленням мають ряд переваг. До них слід віднести високу концентрацію тепла, продуктивність процесу, універсальність, можливість зварювання в будь-яких просторових положеннях.

За основу класифікації існуючих видів і способів зварювання приймають різні ознаки, з яких найбільш важливими вважаються агрегатний стан металу при зварюванні та вид енергії, що використовується для розігріву металу.

За станом металу в зоні з'єднувальних елементів розрізняють технології зварювання: з розплавленням (зміна агрегатного стану) та без розплавлення, з застосуванням гарячої пластичної деформації (тиском).

Для зварювання плавленням характерною ознакою являється відсутність зовнішніх стискуючих зусиль. Метал в зоні з'єднання елементів знаходиться в рідкому стані.

При зварюванні елементів, що знаходяться в твердому стані, обов'язково використовуються зовнішні механічні зусилля стиску. Для отримання якісного зварного з'єднання метал нагрівають до температур надпластичного стану.

Згідно ДСТУ 3761.2-98 передбачаються три класи зварювання: термічний, термомеханічний та механічний.

Термічний клас об'єднує види зварювання, що здійснюються місцевим розплавленням металу: дугове, газове, термічне, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове, лазерне та ін.

Механічний клас зварювання об'єднує всі види зварювання, що виконуються тиском (механічною енергією): холодне, тертям, ультразвукове, вибухом та ін.

Термомеханічний клас об'єднує види зварювання, що здійснюються тиском з використанням теплової енергії загального або місцевого характеру: контактне, термічно-пресове, газопресове, дифузійне та ін.

Коротка характеристика основних видів зварювання

Дугове зварювання – спосіб зварювання, при якому розігрівання металу здійснюється електричною дугою.

Розрізняють дугове зварювання плавким та неплавким електродом.

При зварюванні плавкими електродами шов утворюється внаслідок плавлення електрода і основного металу (рис. 1).

При зварюванні неплавкими електродами шов заповнюється металом з'єднувальних кромок і присаджувальними металами (рис. 2) [1].

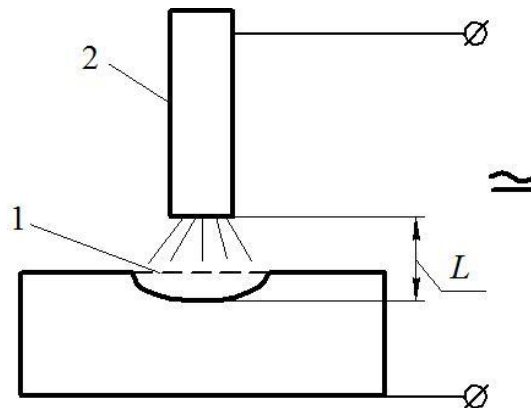


Рис. 1. Схематичне зображення процесу зварювання плавким електродом:
1 – зварювальна ванна; 2 – плавкий електрод; L – довжина дуги

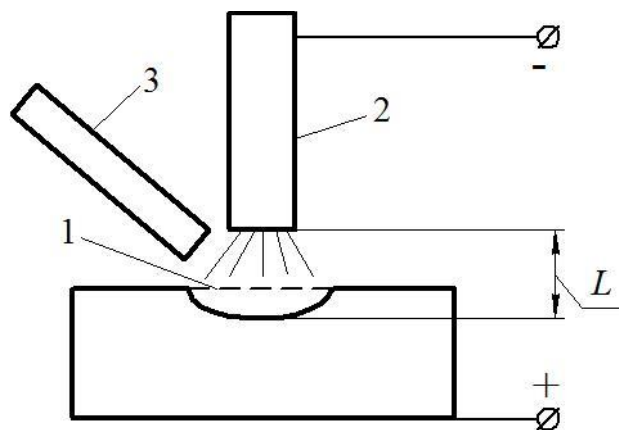


Рис. 2. Схематичне зображення процесу зварювання неплавким електродом:
1 – зварювальна ванна; 2 – неплавкий електрод; 3 – присаджувальний метал

При зварюванні плавкими електродами, по мірі його розплавлення, необхідно безперервно подавати електрод в зону зварювання, підтримуючи постійною довжину дуги.

Довжиною дуги (L) називають відстань між кінцем електрода і поверхнею кратера (див. рис. 1).

При зварюванні плавкими електродами зростання довжини дуги необхідно постійно корегувати.

Для отримання якісного зварного з'єднання необхідно виконувати захист розплавленого металу від впливу атмосфери (кисню, азоту, водню).

За способом захисту металу від атмосфери навколишнього середовища дугове зварювання розділяють на різновиди: покритими електродами, під флюсом, порошковим дротом та в середовищі захисних газів.

При електричному дуговому зварюванні покритими електродами захист розплавленого металу відбувається в результаті розвитку хімічних реакцій

компонентів покриття з утворенням шлаків і газів.

Шлаки після взаємодії з розплавленим металом розташовуються на поверхні, що утворює відповідний захист.

Гази утворюють навколо електричної дуги і розплавленого металу газову захисну атмосферу.

При дуговому зварюванні в середовищі захисних газів нагрівання та розплавлення основного металу здійснюється зварювальною дугою, що горить між електродним дротом і виробом в середовищі захисного газу.

Газ, що подається в зону горіння дуги, ізолює розплавлений метал і зварювальну дугу від шкідливого впливу повітря, таким чином виконуючи захисну функцію.

В якості захисних газів застосовують вуглекислий газ, аргон, гелій і суміші (наприклад 30 % кисню та 70 % вуглекислого газу). Інертні гази (гелій, аргон) використовують для зварювання легованої сталі та хімічно чистих металів (алюміній, титан).

При дуговому зварюванні під флюсом дуга формується між кінцем електродного дроту та основним металом під шаром флюсу.

Зварювальний флюс – подрібнений матеріал, що використовується при зварюванні для захисту зони зварювання від атмосферного повітря, забезпечення стійкості горіння дуги, формування поверхні зварного шва та отримання заданих властивостей наплавленого матеріалу (шва).

При використанні порошкового дроту нагрівання та розплавлення основного металу здійснюється теплом, яке виділяється при горінні електричної дуги між оболонкою дроту і виробом.

Порошковий дріт представляє собою згорнуту з тонкої металевої стрічки оболонку, всередині якої знаходиться суміш матеріалів (шихта), яка виконує аналогічну роль, що й електродне покриття або флюс. Залежно від способу захисту порошкові дроти поділяють на самозахисні та для зварювання з використанням захисних газів або флюсу [1, 2].

Застосування шихти в середині дроту відкриває широкі можливості по додаванню в неї різних комбінацій порошків, що дозволяє розширити легувальні можливості, а додавання металевого порошку – підвищувати продуктивність процесу наплавлення. Проте однією з основних проблем при зварюванні та наплавленні порошковим дротом є забезпечення захисту зони зварювання від взаємодії з компонентами повітрям.

За ступенем механізації розрізняють механізоване та автоматизоване електродугове зварювання.

При механізованому електродуговому зварюванні дуга переміщується вручну, механізована подача електродного дроту.

При автоматичному електродуговому зварюванні подача зварювального дроту, переміщення дуги по виробу, запалювання дуги і підтримування стійкого горіння – механізовані.

3. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

РОБОЧЕ МІСЦЕ ЗВАРЮВАЛЬНИКА

Мета роботи: 1. Ознайомитись з обладнанням зварювального поста й інструментом зварювальника. 2. Набути навиків з підготовки зварювального поста, устаткування та інструменту до виконання зварювальних робіт.

Теоретичні відомості

Зварювальним постом називають робоче місце зварювальника, оснащене комплектом технологічно пов'язаного між собою обладнання, необхідними пристроями та інструментом. Зварювальні пости можуть бути стаціонарними чи пересувними.

Стаціонарні пости (рис. 3) зазвичай виконують у вигляді відкритих зверху кабінок, в яких зварюються вироби невеликих розмірів.

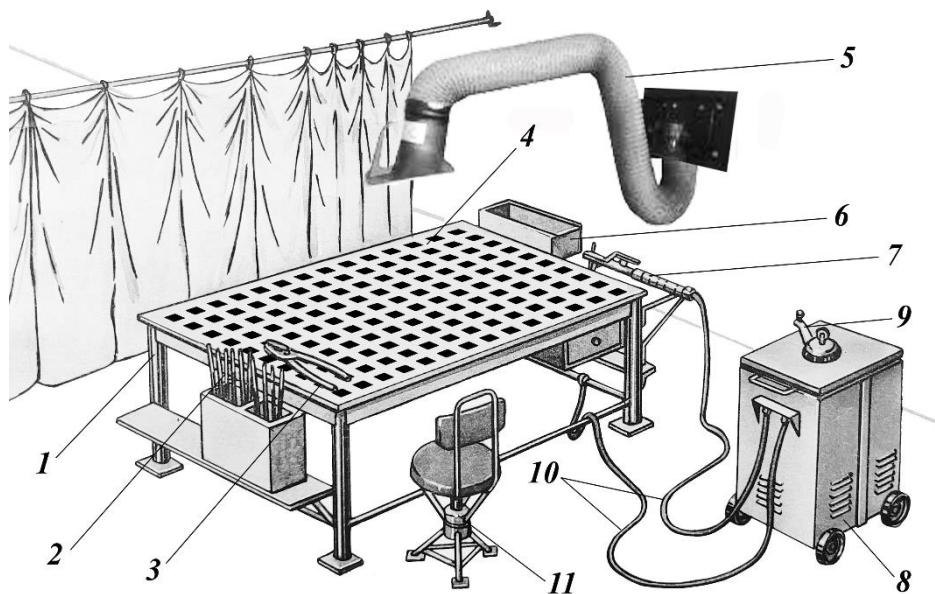


Рис. 3. Стаціонарний зварювальний пост ручного дугового зварювання:
1 – стіл для зварювальних робіт; 2 – ящик для електродів; 3 – кліщі; 4 – монтажна поверхня столу; 5 – мобільний витяжний пристрій; 6 – ящик для електродних недопалків; 7 – електродотримач; 8 – джерело живлення; 9 – рукоятка регулювання зварювального струму; 10 – зварювальні кабелі; 11 – стілець зварника

Стінками кабінок слугують перегородки з тонкої сталі, фанери або брезенту (фанера чи брезент повинні бути просочені вогнестійким складом, наприклад розчином алюмокалієвих галунів), які фарбують світло-сірою фарбою, що добре поглинає ультрафіолетове випромінювання. Підлогу виконують з вогнестійкого матеріалу.

Освітленість kabіни має становити не менше 80 лк.

Kабіну обладнують місцевою вентиляцією, що повинна забезпечувати повітрообмін не менше 40 м³/год. Вентиляційний відсмоктувач повинен бути розташований так, щоб газів, що виділяються при зварюванні, відводилися від зварювальника. Зварювання виконують на робочому столі заввишки 500...700 мм із чавунною кришкою завтовшки 20...25 мм. Для увімкнення джерела зварювального струму в kabіні встановлюють рубильник або електромагнітний пускач.

Пересувний пост застосовують при зварюванні великогабаритних виробів у зоні виконання зварювальних робіт. Пост, розташований на відкритому майданчику, обладнують навісом. Для захисту від світлового випромінювання використовують складні щити.

Зварювальний пост на змінному струмі комплектується трансформатором, а на постійному – випрямлячем або перетворювачем.

Вимоги до джерел живлення зварювальної дуги

Джерела живлення зварювальної дуги повинні відповідати наступним вимогам:

1. Напруга холостого ходу повинна бути достатньою для запалювання дуги (60...80 В) і не перевищувати безпечної для зварювальника (80 В).
2. Допускати регулювання струму в широких межах.
3. Мати спеціальні зовнішні вольт-амперні характеристики (ВАХ) (рис. 4).
4. Не боятися струмів короткого замикання.

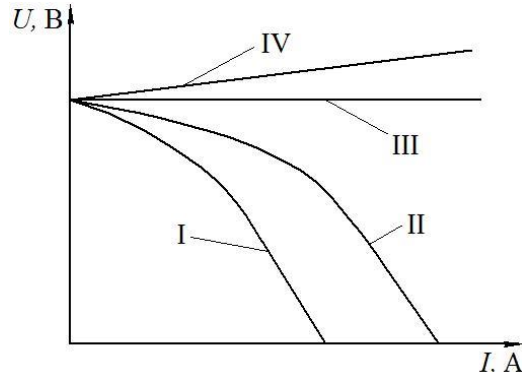


Рис. 4. Форми зовнішніх ВАХ джерел зварювального струму:
I – крутоспадаюча; II – похилоспадаюча; III жорстка; IV зростаюча

Для ручного дугового зварювання джерела живлення повинні мати крутоспадаючу характеристику (крива I). При автоматизованому зварюванні під шаром флюсу, для покращення стабільності процесу горіння дуги, характеристика джерела струму повинна бути похилоспадаючою (крива II).

Зварювання в середовищі захисних газів, з використанням тонкого електродного дроту, вимагає застосування джерел з жорсткою (крива III) або зростаючою характеристиками (крива IV).

Зварювальні kabіни найбільш частіше оснащуються зварювальними тран-

сформаторами з підвищеним магнітним розсіюванням, які мають крутоспадаючу зовнішню характеристику, схема якого показана на рис. 5.

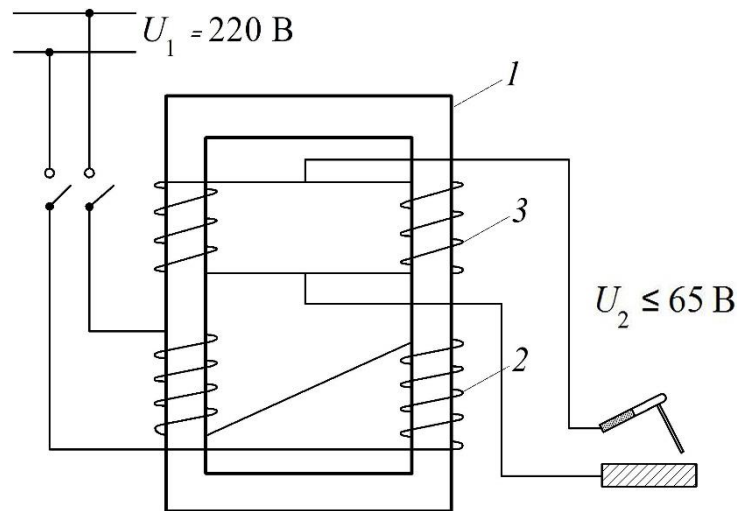


Рис. 5. Конструктивна схема трансформатора зі збільшеним магнітним розсіюванням та рухомою обмоткою (ТС-300):

1 – контур магнітопроводу (осердя); 2 – витки первинної обмотки;
3 – витки вторинної обмотки

Спосіб регулювання зварювального струму для такого трансформатора заснований на зміні магнітного розсіювання. Трансформатор має первинну обмотку 2, нерухомо закріплену на осерді 1 і вторинну обмотку 3, котушки якої можуть переміщуватись вздовж стрижнів осердя 1 (магнітопроводу). Переміщення вторинної обмотки забезпечує регулювання зварювального струму. При зближенні обмоток 2 і 3, магнітне розсіювання зменшується і зварювальний струм збільшується, а при віддаленні обмоток – навпаки, зварювальний струм зменшується.

Електрод для зварювання, закріплений в спеціальному електродотримачі, під'єднується до трансформатора гнучким мідним провідником довжиною не менше 3 м.

Довжина провідника від джерела живлення до робочого місця не повинна бути більшою за 30...40 м, оскільки спад напруги в провідниках призведе до зменшення напруги на дузі.

Одним з інструментів зварювальника, від якого залежить продуктивність і безпека праці, є електродотримач. Він повинен бути легким, масою не більше 0,5 кг, зручним при виконанні зварювальних робіт в усіх просторових положеннях. Тримач повинен забезпечувати швидку заміну електродів, мати з ними якісний електричний контакт та не нагріватися в процесі зварювання.

У комплект інструмента зварювальника додатково додаються молоток з загостреним кінцем, для збивання шлаку зі зварювальних швів, зубило, для вирубки дефектних місць зварювальних швів, стальна щітка, для очищення поверхні виробів від бруду і іржі перед зварюванням і шлаку після зварювання та кутник, стальна лінійка чи вимірвальна рулетка, рисувалка, набір шаблонів для контролю розмірів швів.

Режими зварювання

Режим ручного дугового зварювання визначається типом та діаметром електродів, величиною зварювального струму і вибирається в залежності від товщини зварювального металу. Визначений вплив має хімічний склад сталі, просторове положення шва та конструкцію зварного з'єднання.

Діаметр електрода вибирається в залежності від товщини основного металу, що призначений для зварювання, за таблицею 1.

Таблиця 1

Вибір діаметра електрода

Товщина зварювального металу, мм	1,5	2	3	4...5	6...8	9...12	13...15	16...20
Діаметр електрода, мм	1,6	2	3	3...4	4	4...5	5	5 і більше

Значення електричного струму $I_{зв}$ (А) для ручного дугового зварювання, в залежності від діаметра електрода, визначають за наступною емпіричною формулою [1]:

$$I_{зв} = \kappa \cdot d_{ел} \quad (1)$$

де κ – коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу електрода та його діаметра, А/мм; $d_{ел}$ – діаметр електрода, мм.

Таблиця 2

Вплив діаметра електрода на коефіцієнт пропорційності [1]

Діаметр електрода, мм	1...2	3...4	5...6
Діаметр електрода, мм	25...30	30...45	45...60

Якщо товщина металу менше $1,5 d_{ел}$, то при зварюванні в нижньому положенні $I_{зв}$ зменшують на 10...15 % у порівнянні з розрахунковим. Якщо товщина металу більша за $3 d_{ел}$, $I_{зв}$ збільшують на 10...15 % у відповідності з розрахунком за (1).

При зварюванні в вертикальній площині, $I_{зв}$ зменшують на 10...15 %, в стельовому положенні – на 15...20 % в порівнянні з силою струму при зварюванні в нижньому положенні, розрахованою за (1).

Напруга на дузі для більшості електродів в середньому складає 25...28 В.

Практична частина

Практична робота повинна проходити за дотриманням наступної послідовності дій:

1. Перед початком роботи студенти повинні одягти зварювальні костюми.
2. Перевірити елементи зварювального поста на зовнішні ушкодження.
3. Перевірити наявність заземлення обладнання зварювального поста.

4. Визначити та підготувати інструменти зварювальника.
5. Перевірити правильність підключення всіх елементів електричного зварювального обладнання та роботоздатність його струмопровідних клем.
6. Ввімкнути зварювальне джерело живлення.
7. Налаштувати визначені режими зварювання джерела живлення для запропонованої майстром товщини основного металу.
8. Запалити електричну дугу з метою перевірки готовності поста до роботи.
9. Завершити роботу, знеструмити обладнання, прибрати робоче місце.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення зварювальному посту.
2. Які види джерел зварювальної дуги існують?
3. Який інструмент входить у комплект зварювальника?
4. Які вимоги пред'являються до джерел живлення зварювальної дуги?
5. Як регулюється зварювальний струм на трансформаторі марки ТС-300?
6. Як вибирається діаметр електродного дроту?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ЗАПАЛЮВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ ТА РУХИ ЕЛЕКТРОДА ПРІ ЗВАРЮВАННІ

Мета роботи: 1. Набути навиків з запалювання електричної дуги та встановлення її раціональної довжини. 2. Засвоїти техніки руху електрода під час виконання зварювальних робіт.

Теоретичні відомості

Джерелом тепла при дуговому зварюванні є електрична дуга, яка являє собою тривалий електричний розряд у концентрованій суміші газів і випаровувань, що утворилися з металу і матеріалів електродів, флюсів та шихти.

Запалювання (збудження) дуги здійснюється двома способами (рис. 6).

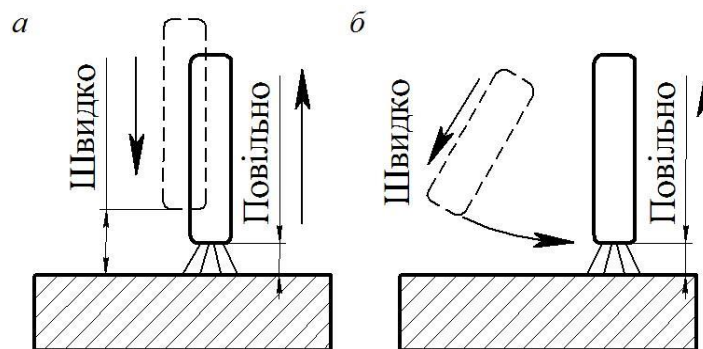


Рис. 6. Схема запалювання зварювальної дуги:

а – доторкуванням електрода в точці; *б* – торканням кінцем електрода поверхні металу

При першому способі (рис. 6, а) електрод підводять перпендикулярно до місця початку зварювання і після порівняно легкого дотику до виробу відводять нагору на відстань 2...5 мм.

Дотик електрода до виробу має бути короткочасним, оскільки інакше він привариться (прилипне) до виробу. В цьому випадку відривати електрод слід різким поворотом його вправо та вліво.

Другий спосіб нагадує процес запалювання сірника (рис. 6, б).

При обриві дуги повторне її запалювання здійснюється тільки попереду кратера на основному металі, з поверненням до попереднього шву. Це дозволяє здійснити вивід часток забруднень, що залишилися в кратері. Після цього зварювання ведуть у потрібному напрямку.

Рухи електрода при зварюванні

Після збудження дуги електрод слід деякий час витримувати в точці початку зварювання, поки не відбудеться розплавлення основного металу і не почне формуватися шов (валик).

Під час горіння дуги зварювальник виконує два основних рухи (рис. 7): рівномірну подачу електрода, по мірі його розплавлення, в зону кратера 1 та переміщення електрода вздовж зварного стику 2.

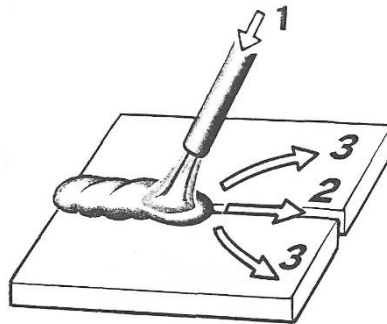


Рис. 7. Рухи електродом під час зварювання (наплавки):
1 – поступальний; 2 – прямолінійний; 3 – коливальний

Перший рух (див. рис. 7) – поступальний вздовж вісі електрода – забезпечує підтримку оптимальної довжини дуги, показниками якої є різкий потріскуючий звук, рівномірне перенесення крапель металу через дуговий проміжок, мале розбризкування.

Довжина дуги значно впливає на якість зварного з'єднання (наплавки).

За довжиною зварювальна дуга буває:

- *коротка* (до 4 мм) – характеризується стійкістю процесу горіння, меншим окисленням розплавленого електродного металу та відносно невеликим його розбризкуванням. Наведене забезпечує отримання шва (наплавки) високої якості, проте дуже коротка дуга може гаситися зварювальною ванною, викликати прилипання електрода тощо.

- *довга* – (більше 4 мм) характеризується нестійким процесом горіння з характерним шипінням, недостатньою глибиною проплавлення, підвищеним

окисленням й розбризуванням розплавленого електродного металу. Як наслідок, утворюється безформний шов (наплавка) з великою кількістю неметалевих включень й інших дефектів.

Другим основним рухом при зварюванні (див. рис. 7) є прямолінійне переміщення електрода вздовж вісі шва, який повинен забезпечувати рівномірну глибину проплавлення та висоту підсилення шва по всій довжині. Швидкість цього руху встановлюється залежно від сили струму, діаметра електрода, швидкості його плавлення, виду шва та інших факторів. Швидкість переміщення електрода також впливає на геометричні розміри швів (наплавки). За її зростання наплавлені валики будуть зменшуватися за висотою та звужуватися, з укрупненням лускатості. При дуже повільній швидкості переміщення електрода валик буде мати велику висоту, нерівномірну форму й напливи по краях.

Зварний шов, утворений в результаті наведених рухів електрода, називають *нитковим*. Його ширина при оптимальній швидкості зварювання становить $0,8 \dots 1,5 \cdot d_{\text{ел}}$. Нитковим швом заповнюють корінь шва, зварюють тонкі заготовки, виконують наплавлювальні роботи і роблять підварювання підрізів.

Для наплавлення валика без поперечних коливань електрода необхідно збудити дугу, розтягнути її і деякий час утримувати в одному місці для прогріву основного металу. Потім поступово зменшувати довжину дугового проміжку, доки не утворюється зварювальна ванна відповідного розміру. Вона повинна добре сплавитися з основним металом доти, коли почнеться поступальний рух електрода у бік зварювання. В процесі зварювання (наплавлення) швидкість зварювання досвідчені зварювальники визначають в залежності від висоти валика, який формується.

Третім (необов'язковим) рухом електрода під час зварювання (наплавлення) (див. рис. 7) є коливальний в поперечному напрямку відносно вісі шва. Поперечні коливання електрода певної траєкторії, що здійснюються з постійною частотою і амплітудою і поєднані з переміщенням вздовж шва, дозволяють отримати зварний шов необхідної ширини. Широкі шви $(1,5 \dots 5) \cdot d_{\text{ел}}$ одержують за допомогою поперечних коливань, зображених на рис. 8.

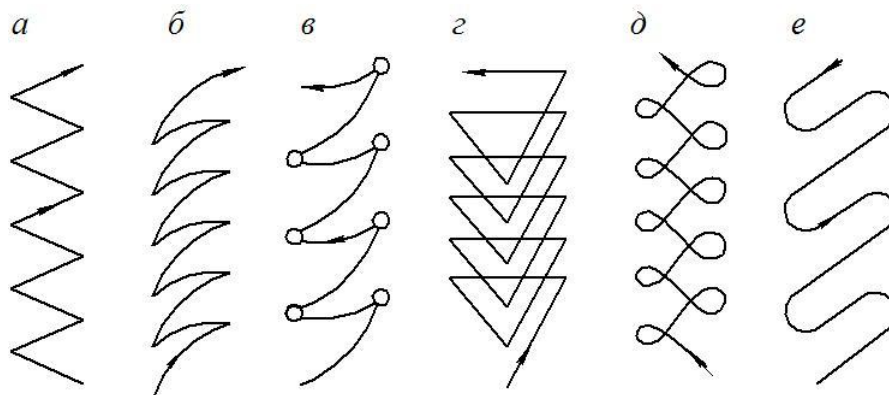


Рис. 8. Основні види траєкторій коливальних рухів кінця електрода:
a – штрихом; *б* – півмісяцем вперед; *в* – півмісяцем назад з затримками; *г* – трикутником;
д – вісіркою; *е* – змійкою

Траєкторії рухів кінця електрода визначаються формою підготовки кромок під зварювання, розмірами і положенням шва, властивостями матеріалу, що зварюється, навичками зварювальника.

Наприклад, *штриховий рух*, зазвичай застосовують для отримання валиків при зварюванні в стик без скосу кромок в нижньому положенні та при достатній товщині основного металу; *півмісяцем вперед* – для стикових швів зі скосом кромок й для кутових швів з катетом менше 6 мм, які виконуються в будь-якому просторовому положенні електродами до 4 мм; *півмісяцем назад* – для зварювання в нижньому положенні, а також для вертикальних і стельових швів з підсиленням (випуклою зовнішньою поверхнею).

Практична частина

Практична робота повинна проходити за дотриманням наступної послідовності дій:

1. Перед початком роботи студенти повинні одягти зварювальні костюми.
2. Студенти готують до роботи зварювальний пост, устаткування, інструменти тощо.
3. Майстер виробничого навчання демонструє різні способи запалювання зварювальної дуги, її ефективну довжину та виконання різних рухів електродом під час зварювання.
4. Студенти самостійно, з дотриманням вимог охорони праці:
 - практично виконують запалювання дуги різними способами;
 - визначають і практично встановлюють ефективну довжину дуги;
 - виконують основні рухи електрода під час зварювання;
 - виконують коливальні рухи електрода під час зварювання;
5. Після завершення роботи студенти знеструмлюють обладнання, прибирають зварювальний пост.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення зварювальній дузі.
2. Яким чином класифікується зварювальна дуга за довжиною?
3. Якими способами запалюється зварювальна дуга?
4. Які рухи здійснює електрод при зварюванні?
5. В яких випадках застосовують коливальні рухи електродом?
6. Чим відрізняються між собою коливальні рухи електродом?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3
НАПЛАВЛЕННЯ ВАЛИКА

Мета роботи: 1. Набути навиків з підготовки поверхні металевої заготовки до наплавлення. 2. Навчитися раціонально розташовувати електрод в просторі відносно зварних поверхонь. 3. Навчитися наплавляти валик заданих розмірів. 4. Навчитися аналізувати якість проведених робіт та застосовувати прості засоби технічного контролю для оцінювання параметрів валика.

Теоретичні відомості

Наплавлення – це процес нанесення за допомогою зварювання шару металу на поверхню виробу. Наплавлення використовується для відновлення розмірів спрацьованих деталей і при виготовленні нових виробів для отримання поверхневих шарів з особливими властивостями. Для утворення єдиного шару кожен валик наплавленого металу повинен перекривати попередній на величину, що дорівнює $0,2 \dots 0,4$ його ширини (рис. 9).

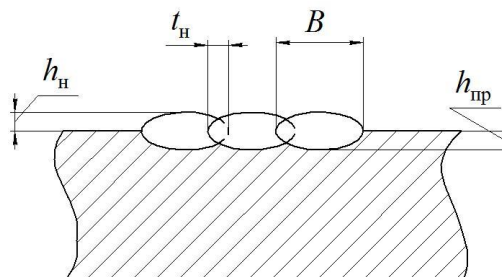


Рис. 9. Схема перетину наплавлених шарів:

B – ширина валика; h_n – висота наплавки; $h_{пр}$ – глибина проплавлення; t_n – перекриття

Для наплавлення застосовують електродугові види зварювання: ручне з плавким електродом; механізоване та автоматизоване порошковим дротом чи в середовищі захисних газів; вібродугове; плазмове; електрошлакове та ін.

Положення електрода при наплавленні (зварюванні)

Зварювання може здійснюватися при різних просторових положеннях швів: нижньому, горизонтальному, вертикальному та стельовому (рис. 10).

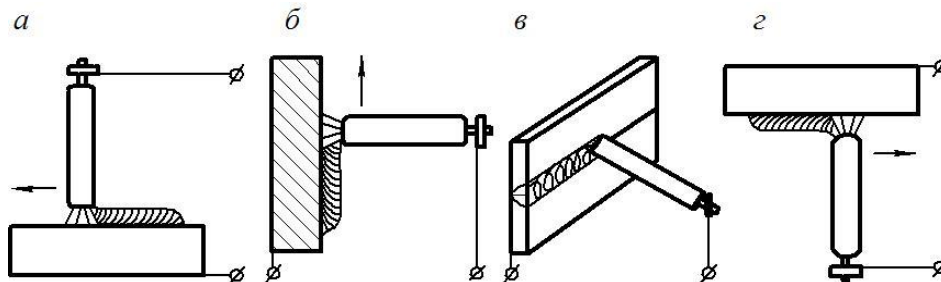


Рис. 10. Просторові положення зварних швів:

a – нижнє; b – вертикальне; v – горизонтальне; z – стельове

Найбільш високу якість швів одержують у випадках, коли зварювання виконується в нижньому положенні.

При зварюванні в нижньому положенні електрод має нахил від вертикалі у напрямку переміщення електрода (рис. 11).

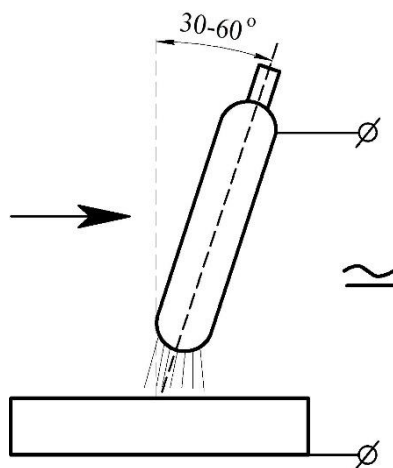


Рис. 11. Нахил електрода при зварюванні в нижньому положенні

Вказаний на рис. 11 інтервал значень кута нахилу залежить від товщини основного металу – чим більша товщина, тим він може бути меншим, що забезпечить більшу глибину проплавлення.

Рекомендації щодо виконання процесу наплавлення

Наплавлення (зварювання) виконують у напрямку як зліва направо, так і праворуч наліво, від себе і на себе [3].

В кінці валика (шва) не можна різко обривати дугу і залишати на поверхні металу кратер, що є концентратором напружень і зоною з підвищеним вмістом шкідливих домішок. Щоб уникнути утворення кратера, необхідно припинити переміщення електрода, тобто зробити затримку на 1...2 с, потім зміститися назад на 5 мм і швидким рухом вгору і назад обірвати дугу.

При неправильному завершенні процесу зварювання у місці закінчення шва, де згасла дуга, завжди утворюється глибокий кратер [4]. Кратер може бути показником глибини проплавлення, однак наприкінці зварювання та наплавлення дані кратери повинні заварюватися. Це здійснюється шляхом збудження дуги в кратері, встановлення короткої дуги та витримки в такому положенні електрода до заповнення розплавленим металом кратера. Не рекомендується заварювати кратер, кілька разів обриваючи та збуджуючи дугу, зважаючи на утворення оксидних та шлакових забруднень металу.

Для наплавлення ниткового валика необхідно збудити дугу, розтягнути її і деякий час утримувати в одному місці для прогріву основного металу. Потім поступово зменшувати довжину дугового проміжку, доки не утворюється зварювальна ванна відповідного розміру. Вона повинна добре сплавитися з основним металом доти, коли почнеться поступальний рух електрода у бік зварювання.

При виконанні коливальних рухів потрібно слідкувати за тим, щоб кут нахилу електрода у вертикальній та горизонтальній площинах не змінювався.

Амплітуда коливань не повинна перевищувати три діаметри використовуваного електрода. Під час формування валика зварювальна ванна повинна підтримуватися в розплавленому стані. Якщо переміщати електрод занадто далеко і затримувати його повернення, метал зварювальної ванни може охолонути та кристалізуватися. Це призведе до появи в металі зварного шва шлакових включень та погіршить його зовнішній вигляд.

В процесі зварювання (наплавлення) необхідно уважно спостерігати за ступенем розплавлення зварювальної ванни, а також за її шириною і глибиною, що допомагає правильно встановлювати швидкість виконання всіх рухів електрода.

Досвідчені зварювальники визначають швидкість зварювання в залежності від висоти валика, який формується.

Практична частина

Практична робота повинна проходити за дотриманням наступної послідовності дій:

1. Перед початком роботи студенти повинні одягти зварювальні костюми.
2. Студенти готують до роботи зварювальний пост, устаткування, інструменти тощо.
3. Майстер виробничого навчання демонструє основні прийоми роботи слюсарним інструментом по підготовці металевої поверхні до наплавлення.
4. Майстер виробничого навчання демонструє наплавлення валиків з різними заданими параметрами.
6. Студенти самостійно, з дотриманням вимог охорони праці:
 - виконують підготовку заданих металевих поверхонь для наплавлення;
 - виконують наплавлення валиків з різними заданими параметрами;
 - зачищають валики від шлаку, бризок металу тощо;
 - аналізують якість наплавлених валиків і дотримання їх параметрів заданим, в тому числі за допомогою простих засобів технічного контролю;
7. Після завершення роботи студенти знеструмлюють обладнання, прибирають зварювальний пост.

Контрольні запитання

1. Що називають наплавленням?
2. Перерахуйте області застосування наплавочних робіт.
3. Які рухи електрода використовують при наплавленні?
4. Яким чином контролюється швидкість наплавлення?
5. Яким чином визначають амплітуду коливальних рухів?

ВИКОНАННЯ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

Мета роботи: 1. Набути навиків з підготовки зварного з'єднання до зварювання. 2. Навчитися виконувати зварне з'єднання. 3. Навчитися аналізувати якість проведених робіт та застосовувати прості засоби технічного контролю для оцінювання параметрів зварного шва.

Теоретичні відомості

Зварне з'єднання – це нероз'ємне з'єднання двох деталей, виконане зварюванням за рахунок утворення металевого міжатомного зв'язку. Вони можуть бути стиковими, кутовими, тавровими, внапуск (рис. 12) та ін. [1, 2].

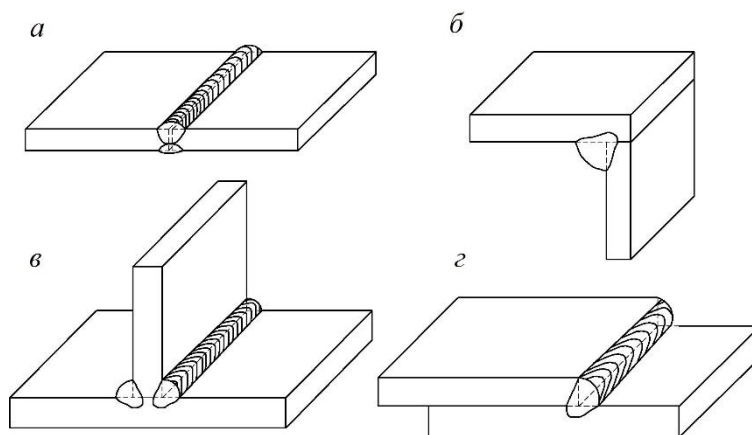


Рис. 12. Основні типи зварних з'єднань:
а – стикове; б – кутове; в – таврове; г – внапуск

Стиковий шов характеризується шириною B , підсиленням h_H , глибиною проплавлення $h_{\text{пр}}$, зазором a , кутовий – катетом k (рис. 13).

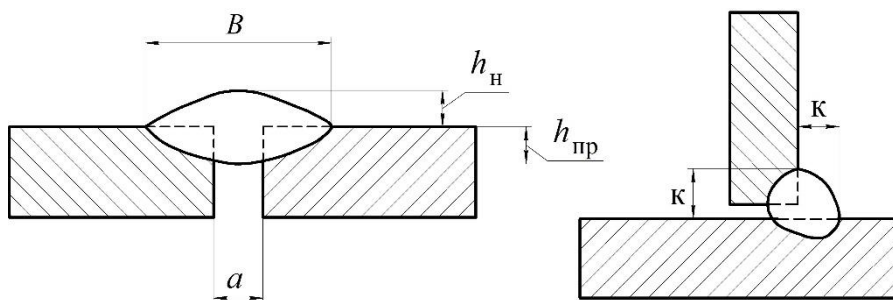


Рис. 13. Геометричні параметри зварних швів

За формою зовнішньої поверхні (рис. 14) стикові шви бувають плоскими та випуклими. Кутові шви можуть бути і ввігнутими, якщо зварювання виконується в човник.

Зварні з'єднання з випуклими швами краще працюють на статичне навантаження, ніж з плоскими або ввігнутими швами.

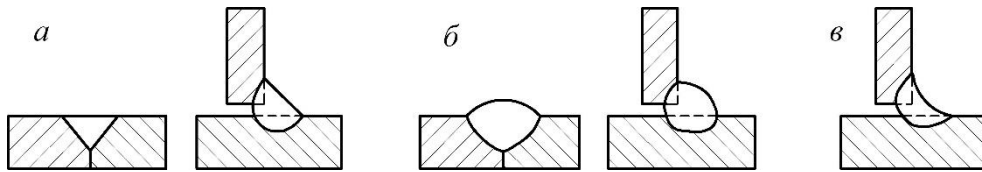


Рис. 14. Класифікація зварних швів за формою зовнішньої поверхні:
a – плоский; *б* – випуклий; *в* – ввігнутий

Стикові з'єднання з плоскими швами і кутові, таврові, напускові з'єднання з ввігнутими швами краще працюють на знакозмінне навантаження, ніж з'єднання з випуклими швами. Це пояснюється тим, що при плоских і ввігнутих швах відсутні концентратори.

По відношенню до напрямку діючих сил шви поділяють на: флангові, осі яких паралельні напрямку сил; лобові, осі яких перпендикулярні напрямку сил; комбіновані та косі (рис. 15).

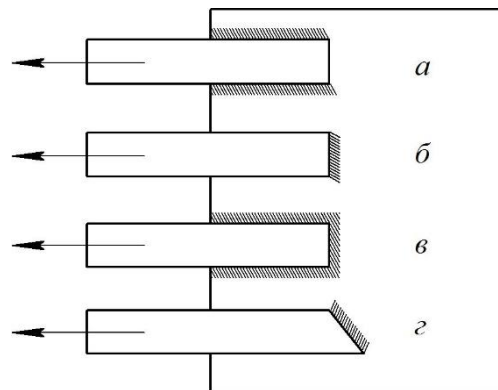


Рис. 15. Класифікація зварних швів по відношенню до напрямку діючих зусиль:
a – фланговий; *б* – лобовий; *в* – комбінований; *г* – косий

Для якісного формування зварного шву, в залежності від товщини зварювального металу S , роблять підготовку кромки під зварювання. Приклади підготовки кромки основного металу під зварювання, в залежності від товщини елементів, наведені на рис. 16.

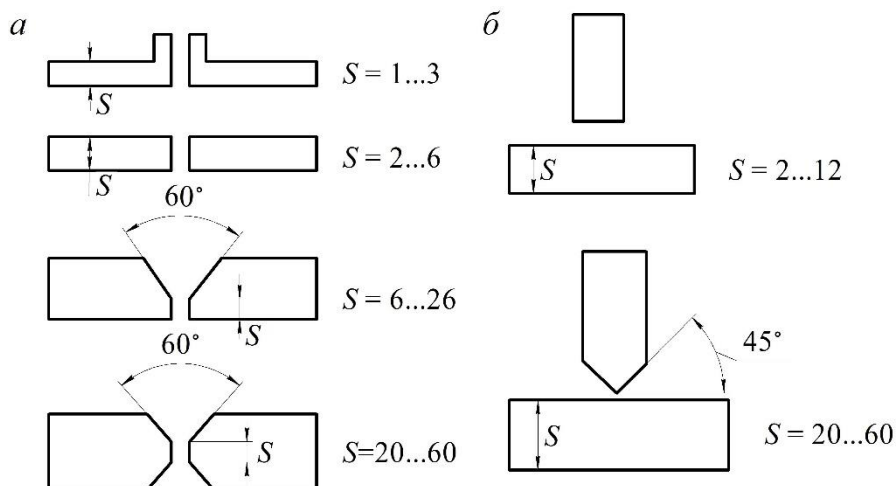


Рис. 16. Види підготовки кромки основного металу:
a – стикові; *б* – таврові

Зварні шви можуть бути безперервними (суцільними), переривчастими, одношаровими та багатошаровими. Зварювальні шви, що використовують тимчасово для фіксації взаємно розташованих елементів конструкції чи деталей, називають *прихватками*.

Практична частина

Практична робота повинна проходити за дотриманням наступної послідовності дій:

1. Перед початком роботи студенти повинні одягти зварювальні костюми.
2. Студенти готують до роботи зварювальний пост, устаткування, інструменти тощо.
3. Майстер виробничого навчання демонструє основні прийоми роботи слюсарним інструментом по підготовці заготовок до зварювання.
4. Майстер виробничого навчання демонструє зварювання двох заготовок.
5. Студенти самостійно, з дотриманням вимог охорони праці:
 - виконують підготовку обраних металевих поверхонь до зварювання;
 - фіксують елементи зварного з'єднання перед зварюванням;
 - виконують зварне з'єднання;
 - зачищають зварне з'єднання від шлаку, бризок металу тощо;
 - аналізують якість шва і параметри зварного з'єднання в цілому, в тому числі за допомогою простих засобів технічного контролю;
6. Після завершення роботи студенти знеструмлюють обладнання, прибирають зварювальний пост.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні типи зварювальних з'єднань.
2. Як класифікуються зварні шви за формою зовнішньої поверхні?
3. Чому ввігнуті шви краще працюють на знакозмінне навантаження?
4. Як класифікуються шви по відношенню до напрямку діючих зусиль?
5. В чому полягає підготовка металу до зварювання?

4. ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

Після виконання кожної практичної роботи студенти повинні оформити звіт та здати його викладачу. Звіт повинен містити основну інформацію про виконану роботу та використане устаткування.

Звіт може бути виконаний на стандартних аркушах паперу формату А4 (210×297 мм) або в зошиті в клітинку охайним розбірливим почерком.

Звіт можливо виконати в електронному вигляді з дотриманням наступних вимог [5]:

- Параметри сторінки: лівий – 3 см, правий – 2 см, верхній та нижній – 2 см;
- шрифт Times New Roman, кегль 14;
- інтервал шрифту 1,5;
- новий рядок повинен починатися з відступу 1,25 см;
- розділи повинні мати свої назви;
- кожен розділ починається з нового листа;
- усі сторінки звіту мають бути пронумеровані.

Звіт повинен мати титульний лист (додаток 1) та наступні розділи: зміст, основна частина, загальні висновки, використана література.

Основна частина звіту повинна містити опис всіх виконаних практичних робіт, кожна з яких повинна мати наступні елементи:

- 1) назва практичної роботи;
- 2) мета практичної роботи;
- 3) практична частина – в цьому підрозділі потрібно вказати обладнання, устаткування, інструмент, який використовувався під час роботи, в хронологічному порядку, стисло, описати послідовність виконання роботи, обов'язково доповнюючи опис ескізами (рисуноками). В обов'язковому порядку зображуються ескізи виконаних зварних з'єднань чи валиків у вигляді поперчного розрізу (див. рис. 13) та виду зверху з вказанням основних параметрів;
- 4) висновок до кожного заняття з аналізом отриманих практичних результатів.

Рисунки, таблиці у звіті повинні розміщуватися після посилання на них і розташовуватися по центру сторінки. Вони можуть бути охайно нарисовані від руки або роздруковані і вклеєні. Підрисуночний надпис з нумерацією, назвою тощо повинен розміщуватися під рисунком по центру.

Складений студентом звіт повинен бути належним чином оформлений, бути зшитим і мати наскрізну нумерацію сторінок.

Звіт перевіряється і затверджується викладачем, зберігається на кафедрі протягом трьох років

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гуменюк І. В., Іваськів О. Ф., Гуменюк О. В. Технологія електродугового зварювання : підручник. Київ : Грамота, 2007. 512 с.
2. Биковський О. Г. Довідник зварника. Київ : Основа, 2014. 448 с.
3. ДСТУ EN ISO 9606-1:2018. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. На заміну ДСТУ EN ISO 9606-1:2016 ; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2018.
4. ДСТУ EN ISO 3834-2:2022. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. Комплексні вимоги до якості. На заміну ДСТУ EN ISO 3834-2:2019 ; чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2022.
5. Технологічний практикум : дистанційний курс / розр. С. О. Плітченко. URL: <https://lider.ust.edu.ua/course/view.php?id=2264> Дата звернення: 12.04.2024 р.



Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки та
технологій

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

ЗВІТ

з практичних робіт
дисципліни «Технологічний практикум»

Розділ _____

студента групи _____
(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Прийняв: _____

Дніпро 2025

Навчально-методичне видання

**Плітченко Сергій Олександрович,
Вакуленко Ігор Олексійович**

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчально-методичні рекомендації до виконання практичних робіт
з розділу IV «Зварювальні роботи»

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Олексій Куроп'ятник

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.826 від 26.05.2025)

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка С. О. Плітченко

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк.1,64. Обл.-вид. арк.1,62.
Зам. № 71

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 1201, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010