О. Г. БИКОВСЬКИЙ

ЗВАРЮВАННЯ, РІЗАННЯ Й КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

ПІДРУЧНИК

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

О. Г. Биковський

ЗВАРЮВАННЯ, РІЗАННЯ Й КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

ПІДРУЧНИК
ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ
(ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ) ОСВІТИ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

КИЇВ
«ОСНОВА»
2021

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

УДК 621.791(075)
Б95

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ МОН України від 26.05.2020 р. № 697),

Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Рецензенти:
М. П. Вальчук, методист Навчально-методичного кабінету професійно-технічної освіти у м. Києві
А. Г. Кононенко, кандитат педагогічних наук, завідувач науково-організаційного відділу Інституту професійно-технічної освіти Національної академії педагогічних наук України

Биковський О. Г.
Б95 Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.: іл., фот.
ISBN 978-966-984-057-8

У підручнику висвітлено технологію зварювання і термічного різання, розглянуто сучасне вітчизняне й імпортне устаткування для цих видів обробки.

Наведені відомості із суміжних галузей знань (матеріалознавство, електротехніка, фізика тощо) сприятимуть кращому розумінню суті процесів, що відбуваються в оброблюваних матеріалах під час їх нагрівання й стискання, призначення оптимальних параметрів режиму й технічних прийомів зварювання й термічного різання.

Автором зібрано і систематизовано інформацію про сучасні найбільш поширені способи зварювання і різання деталей та вузлів із різноманітних металів і надано рекомендації щодо техніки і технології їх виготовлення.

УДК 621.791(075)

ISBN 978-966-984-057-8

© О. Г. Биковський, 2021
© ТОВ «Основа», 2021

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ПЕРЕДМОВА

Експлуатація зварних конструкцій та їх елементів характеризується широким спектром умов механічного і корозійного навантаження, тому їх виготовляють із різних матеріалів, ретельно добираючи способи металообробки, різновидами яких є зварювання і термічне різання.

Ці найпоширеніші процеси металообробки призначені для з'єднання й роз'єднання практично всіх однорідних і неоднорідних чорних і кольорових металів і сплавів під час виготовлення та ремонту металоконструкцій, відновлення та підвищення зносостійкості деталей машин як у цехових, так і в польових монтажних умовах, на висоті, під водою і навіть у космосі в усіх просторових положеннях.

Зварювальне виробництво являє собою цілий комплекс виробничих процесів із використанням зварювальних техніки і технології, який утворює самостійну закінчену схему виготовлення зварних металоконструкцій.

У підручнику висвітлено технологію зварювання і термічного різання, розглянуто сучасне вітчизняне й імпортне устаткування для цих видів обробки.

Наведені відомості із суміжних галузей знань (матеріалознавство, електротехніка, фізика тощо) сприятимуть кращому розумінню суті процесів, що відбуваються в оброблюваних матеріалах під час їх нагрівання й стискання, призначення оптимальних параметрів режиму й технічних прийомів зварювання й термічного різання.

Розглянуто також і можливі дефекти, що утворюються при зварюванні, методи й апаратуру для їх виявлення, допустимі норми існування у зварних конструкціях, а також методи запобігання дефектам та їх усунення.

Автором зібрано і систематизовано інформацію про сучасні найбільш поширені способи зварювання і різання деталей та вузлів із різноманітних металів і надано рекомендації щодо техніки і технології їх виготовлення.

Наведені в книзі довідкові відомості щодо вибору сучасних зварювальних матеріалів, обладнання й апаратури. Вони ілюструють окремі теоретичні положення, можуть бути використані при виконанні контрольних завдань, курсових і дипломних робіт.

Поєднання вивчення теоретичних основ і практики зварювального виробництва дасть змогу учням професійно-технічних навчальних закладів стати кваліфікованими зварниками. Порівняно проста і доступна форма викладення матеріалу полегшить розуміння особливостей цього виду металообробки. Тим, хто хоче більш глибоко ознайомитися з розглянутими в підручнику питаннями, можна порадити звернутись до джерел списку рекомендованої літератури, що були використані при написанні цієї книги.

У зв'язку з переходом з 1 січня 2019 року до державних стандартів України (ДСТУ), узгодженими з міжнародними стандартами (ISO) або прийнятими як національні стандарти методом «підтвердження» за позначенням (ДСТУ EN ISO), всі технологічні особливості зварювального виробництва викладені згідно з вимогами сучасних стандартів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Коли мова йде про виготовлення або ремонт металоконструкцій (будівельних, мостових, корабельних, вантажопідйомних або резервуарів під тиском тощо), потрібно, щоб виробник і замовник дійшли згоди стосовно якості виконаних робіт. Угода регламентує вимоги до технології виконання всіх робіт, у тому числі і до зварювання. Виробник має довести, що всі зварні з'єднання відповідатимуть досягнутій угоді, яка базується на зафіксованій технології щодо виконання кожного типу зварного шва, підтвердженій результатами випробувань зразків, зварених згідно з цією технологією.

Кожний зварник, який виконує роботу, має попередньо пройти спеціальні іспити, щоб бути впевненим, що здатний виконати зварювальні роботи і виробити продукцію відповідно до умов угоди.

Атестація дає змогу уникнути труднощів, пов'язаних з миттєвою, часто необ'єктивною, оцінкою робітників. Вона здійснюється за заданими критеріями і стандартами виконання роботи в інтересах усієї організації.

Атестація персоналу сприяє виявленню недоліків у кваліфікаційній підготовці працівників і їх навчанню з урахуванням цих недоліків, є підставою для регулювання заробітної платні й об'єктивного визначення цінності кожного у межах як підрозділу, так і всієї організації. Вона дає змогу виважено приймати керівні рішення, в тому числі пов'язані з головними завданнями організації і процесом впровадження необхідних змін, обумовлених кваліфікацією робітників, а також розробити стратегічний план розвитку підприємства у напрямку підвищення якості продукції.

Вимоги до сертифікації зварників написані у формі правил, які встановлюються державними установами, класифікаційними і страховими товариствами України відповідно до ДСТУ EN ISO 9606-1:2016 «Кваліфікаційні випробування зварників, зварювання плавленням. Частина 1. Сталі».

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 1

МАРКУВАННЯ І ЗВАРЮВАНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Перед тим, як вибрати спосіб зварювання й електродні матеріали та розробити технологію зварювання металоконструкції, потрібно мати чітке уявлення не лише про марки матеріалу, його хімічний склад і механічні властивості, але і про таку важливу характеристику, як зварюваність.

Це сукупність технологічних характеристик основного металу, що визначають його реакцію на термічний цикл зварювання, і здатність при прийнятому технологічному процесі забезпечити надійне в експлуатації та економічне зварне з'єднання. Вона визначається, окрім характеристик основного металу, способом і режимом зварювання, складом електродного металу, флюсу, покриття або захисного газу, конструкцією зварного вузла, умовами експлуатації виробу. Під впливом термічного циклу змінюється структура і властивості металу і пришовної зони, можливо утворення гарячих і холодних тріщин, внаслідок чого зварний шов, пришовна зона і зварне з'єднання в цілому може перейти в крихкий стан, втратити корозійну стійкість, міцність при високих і низьких температурах.

Зварюваність матеріалів оцінюють порівняно з властивостями основного металу, вона вважається задовільною, якщо відповідає нормативам, які встановлюються Технічними умовами на даний вид металопродукції.

Вуглецеві сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2, Ст3 всіх ступенів розкислення як з нормальним, так і з підвищеним вмістом марганцю випускають з гарантованою зварюваністю.

Якісні вуглецеві конструкційні сталі. Маркують за номінальним вмістом вуглецю у сотих частинах процента. Наприклад, у широковідомій сталі 45 міститься 0,45 % вуглецю, допустиме відхилення за вмістом вуглецю – 0,03–0,04 %. Всі ці сталі – лише спокійні.

Згідно з вимогами до механічних властивостей якісні сталі поділяються на такі *категорії*: без термічної обробки, термічно оброблені (шифр Т) і нагартовані (шифр Н). *За призначенням* сталі розрізняють трьох підгруп: *а* – для гарячої обробки тиском; *б* – для холодної механічної обробки; *в* – для холодного волочіння. Наприклад, Ст 35-2-а – сталь із 0,35 % С, 2-ї категорії, підгрупи *а*, термічно необроблена.

До якісних конструкційних сталей висуваються більш жорсткі вимоги щодо вмісту шкідливих домішок порівняно зі сталями звичайної якості.

Вуглецеві інструментальні сталі. У позначенні мають букву У та цифри (буква означає, що сталь вуглецева інструментальна; цифра показує вміст вуглецю в десятих частинах процента). Наприклад У8ГА: буква *Г* – з під-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вищеним вмістом марганцю, буква *А* – сталь високоякісна, тобто зі зниженим вмістом сірки, фосфору і випадкових домішок.

Сталі для відливок. Маркують як і якісні конструкційні, але в кінці марки додається буква *Л*. Характеризуються гіршою зварюваністю, ніж аналогічні за складом конструкційні катані сталі.

Зварюваність. Якщо зварні з'єднання високої якості одержують без використання особливих прийомів, *зварюваність* таких сталей оцінюється, як *хороша*, і вони належать до *першої категорії*. Це низьковуглецеві сталі марок ВСт0, ВСт1, ВСт2, 08кп, 20, 20Л, 25, які мають задовільні механічні властивості ($s_в$ = 300…460 МПа, d = 23…30 %) і зварюються майже всіма способами: ручним дуговим, із застосуванням плавкого і неплавкого електрода у захисному газі, під флюсом, електрошлаковим, контактним зварюванням.

Для одержання якісних зварних з'єднань сталей *другої категорії зварюваності* потрібні точне дотримання параметрів режиму зварювання, застосування спеціальних електродних матеріалів, звичайні температурні умови, а в деяких випадках – підігрів, проковування швів, термічна обробка. Зварюваність цих сталей оцінюється як *задовільна*. Такими є сталі з підвищеним вмістом вуглецю марок 30, 30Л, 35, 40, ВСт5 і подібні, їх міцнісні характеристики вищі ($s_в$ = 450…540 МПа), а пластичні – нижчі (d = 14…20 %) від аналогічних характеристик першої групи. Хоча вони можуть бути зварені тими самими способами, для більшості з них рекомендуються попередній підігрів і подальша термічна обробка.

У разі, якщо для зварювання обов'язкові додаткові операції, попередньої або подальшої термічної обробки, проковування швів тощо, зварюваність вважається *обмеженою*, і сталі відносять до *третьої категорії*. Це сталі марок 45, 50, 40Л, 50Л ($s_в$ = 450…645 МПа, d = 13…16 %). Для їх зварювання застосовують лише ручний дуговий і контактний способи за умови обов'язкового підігріву і подальшої термічної обробки.

Якщо зварні шви здатні до утворення тріщин, що спонукає використовувати підігрів, а після нього – термічну обробку, а якість зварного з'єднання невисока, зварюваність сталей вважається поганою і вони належать до *четвертої категорії*. До сталей названої групи зварюваності відносять високовуглецеві сталі марок 60, 75, У8, У10 і подібні до них ($s_в$ = 675…1120 МПа, d = 6…12 %). Вони зварюються лише контактним способом з подальшою термічною обробкою, що забезпечує вказаний рівень механічних властивостей. Сталі цієї групи не рекомендуються для виготовлення зварних конструкцій.

Таким чином, з підвищенням вмісту вуглецю зварюваність сталей погіршується, оскільки збільшується здатність до утворення гарячих (кристалізаційних) тріщин. У металі шва і пришовній зоні внаслідок утворення загартованих структур виникають холодні тріщини, і постає проблема рівноміцності зварного шва, пришовної зони і всього зварного з'єднання.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

1.1. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ Й ЧАВУНИ

Маркування для всіх указаних легованих сталей однотипне. *Перші дві цифри* – вміст вуглецю в сотих частинах процента, *далі букви* – умовні позначення легуючих елементів. *Цифра після кожної букви* – приблизний вміст легуючого елемента в процентах, причому, якщо у металі міститься один процент або менше легуючого елемента, його вміст не проставляється.

Буква *А* в кінці марки вказує, що сталь високоякісна, а всередині означає вміст азоту. Умовні позначення легуючих елементів такі: N-А, Nв-Б, W-В, Mn-Г, Cu-Д, Se-Е, Co-К, Mo-М, Ni-Н, P-П, B-Р, Si-С, Ti-Т, V-Ф, Cr-Х, Zr-Ц, Al-Ю.

Всі леговані сталі спокійні.

Для всіх категорій низьколегованих сталей обов'язково регламентуються хімічний склад і механічні властивості. Міцнісні характеристики визначаються диференційовано залежно від виду і товщини прокату та марки сталі.

До маркування сталей і сплавів, одержаних спеціальними методами, через дефіс додаються букви ВД (вакуумно-дуговий переплав), ЕШ (електрошлаковий переплав), ВІ (вакуумно-індукційна виплавка).

Наприклад, марка 10Х18Н10-ВІ означає, що в сталі міститься 0,1 % С, 18 % Cr, 10 % Ni, а виплавлена вона у вакуумно-індукційній печі.

Зварюваність сталей. Залежить від вмісту вуглецю і легуючих елементів. Для низьколегованих сталей марок 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2, 20Г і подібних до них застосовується зварювання ручне дугове, автоматичне під флюсом, плавким і неплавкими електродом у середовищі захисних газів, електрошлакове, контактне і газове. Ці сталі належать до *першої категорії*. До цієї ж групи також належать високолеговані сталі аустенітного класу (12Х18Н9Т, 04Х18Н10Т, 12Х17Г9АН4 і подібні). Вони можуть бути зварені тими ж способами, що і низьковуглецеві.

Сталі з більшим вмістом вуглецю і легуючих елементів, такі як 30ХГТ, 35ХМ, 30Г, зварюються лише ручним дуговим способом та автоматичним під флюсом лише за умови підігрівання і подальшої термічної обробки. Вони належать до *другої категорії*. Вказана група включає і деякі низьколеговані теплостійкі сталі марок 12МХ, 12Х1МФ, 20ХМФЛ і подібні до них. Вони потребують не лише попереднього, але і супутнього підігрівання з подальшою термічною обробкою. У таких же умовах зварюються високолеговані сталі марок 15Х11МФ і подібні до них. Для них можна використовувати тільки ручне і автоматичне зварювання під флюсом. Високолеговані сталі феритного класу марок 08Х13, 12Х13, 20Х13 також часто потребують підігрівання і подальшої термічної обробки. Можуть бути зварені тими ж способами, що і сталі аустенітного класу.

Третю категорію зварюваності складають сталі марок 10Х, 50Х, 40ХФА, 45ХН, 18Х2Н4МА і подібні до них. В основному вони зварюються лише вручну, іноді під флюсом, електрошлаковим способом і обов'язково потребують підігрівання і подальшої термічної обробки. При кон-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тактному зварюванні, за винятком сталі 40ХФА, ці операції не потрібні. Отже, технологічна зварюваність легованих конструкційних сталей погіршується з підвищенням вмісту як вуглецю, так і легуючих елементів Si, Mn, Cr, Mo, що збільшують прогартованість сталей. До третьої категорії зварюваності належать також сталі з високим вмістом хрому марок 12Х17, 15Х25Т і складнолеговані 36Х18Н25С2, ХН35ВТ. Для їх зварювання можна застосувати лише ручний дуговий спосіб або зварювання неплавким електродом у захисних газах з підігрівом і обов'язковою термообробкою. Таким чином, технологічна зварюваність високолегованих конструкційних сталей задовільна, якщо процес проводиться за відповідною технологією.

Можливі труднощі зварювання високолегованих конструкційних сталей долаються доступними методами. Попередньо сталь низькотемпературного підігріву до 150–400°С. Температура залежить не лише від вмісту вуглецю, легуючих елементів, але й від товщини виробу.

Низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,22 %, якщо товщина перевищує 10 мм, потребують низькотемпературного підігрівання до 120–150°С; середньовуглецеві (0,23–0,45 %С) – до більш високої температури до 150–300°С; леговані конструкційні, теплостійкі й корозійностійкі неаустенітного класу – до 400°С. Жароміцна аустенітна сталь зварюється взагалі без підігрівання.

Підігрівання здійснюється в електропечах та газополуменевими пальниками. Для контролю температури застосовують термоелектричні пірометричні датчики, термоіндикаторні фарби (ТУ 133-67, ТУ 6-09-17-39-73, ТУ 6-10-1131-71) або олівці (ТУ 6-10-1110-71).

Точність вимірювання приблизно 10 %.

Після закінчення зварювальних робіт для поліпшення якості виробу рекомендується термічна обробка.

Так, після дугового зварювання вуглецеві і низьколеговані підвищеної міцності сталі для зняття зварювальних напружень, вирівнювання структури і механічних властивостей відпускають при 650–670°С, теплостійкі хромомолібденованадієві – при 700–740°С. Після електрошлакового зварювання потрібна нормалізація при 920–940°С з подальшим відпуском.

Зварні з'єднання з жароміцних і корозійностійких аустенітних сталей піддають стабілізаційному відпалу при 780–820°С або аустенізації при 1000–1100°С.

Після зварювання сталей мартенситного або феритного класу застосовують високотемпературний відпуск при 700–800°С.

Зварюваність і маркування чавунів. Зварні конструкції з чавунів не виготовляють, але зварювання часто використовують для ліквідації дефектів лиття, а також при ремонті пошкоджень чавунних виробів, виявлених у процесі їх експлуатації.

Чавуни для відливок діляться на сірі, ковкі і високоміцні залежно від форми включень графіту й умов його утворення. Маркують чавуни за

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

механічними властивостями. Наприклад, у марках СЧ-20, КЧ 36-10, ВЧ-1,5 *буквами позначено* вид чавуну: СЧ – сірий, КЧ – ковкий, ВЧ – високоміцний. *Числа після букв* – гарантований показник тимчасового опору на розрив, *далі* – відносне подовження у процентах (для сірих чавунів подовження не регламентується). Зварюваність усіх чавунів дуже низька.

Існуючі технологічні методи (зварювання з підігріванням і без нього) хоча і складні з точки зору використання зварювальних матеріалів і техніки виконання зварювальних робіт, все ж дають змогу одержати з'єднання із задовільними експлуатаційними характеристиками.

1.2. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА ЇХ СПЛАВИ

За своїми фізико-хімічними властивостями кольорові метали значною мірою відрізняються від сталей, що треба враховувати при виборі способу, зварювальних матеріалів, технології і техніки зварювання.

Мідь і її сплави. Завдяки високим електро- і теплопровідності, корозійній стійкості, пластичності при низьких температурах, здатності до пластичного деформування в холодному і гарячому стані, мідь використовується для виготовлення теплообмінних апаратів, електророзподільних пристроїв, водоохолоджувальних кристалізаторів для спеціальної електрометалургії і в кріогенній техніці.

Мідь маркується залежно від чистоти, причому з підвищенням цифрового індексу металу кількість домішок збільшується. Наприклад, вміст міді і срібла у безкисневій міді марки М00б становить 99,99 %, у М1б – 99,95 %, у М3р – 99,5 %. Найбільш шкідливою домішкою міді є кисень, вміст якого для конструкцій звичайного призначення не повинен бути більшим 0,03 %, для відповідальних конструкцій – 0,01 %, а для особливо відповідального призначення – 0,003 %.

При реакції кисню з міддю утворюється закис міді, а внаслідок наступної його взаємодії з міддю – евтектика, яка знижує стійкість проти гарячих тріщин. *Таким же чином діють і вісмут, сурма та свинець*. їх кількість не повинна перевищувати відповідно 0,003 %, 0,005 % і 0,03 %. *Водень може спричинювати пори:* при швидкій кристалізації він не встигає виділитися із зварювальної ванни. Крім того, водень може реагувати з киснем закису міді, що призводить до утворення водяної пари, яка не здатна до дифузії, не дисоціює і внаслідок високого тиску легко руйнує мідь. Це явище називається «водневою хворобою» міді.

Оскільки мідь має високі теплопровідність і коефіцієнт лінійного розширення, то слід використовувати концентроване джерело нагрівання, застосовувати попередній і супутній підігрів, а також заходи щодо зменшення деформацій зварюваної конструкції.

Латуні – це сплави міді з цинком. Серед мідних сплавів завдяки високим механічним і технологічним властивостям найпоширеніші. При

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вмісті цинку до 39 % – це однофазні а-латуні, при більшому вмісті – двофазні а + b- або b-латуні.

Маркуються нелеговані латуні так: після букви Л (латунь) цифра вказує вміст міді. Наприклад, латунь Л63 містить 63 % Cu, решта Zn.

З них виготовляють листи, труби, полоси. Для виготовлення фасонних виробів, наприклад, арматури, гребних гвинтів, використовують складніші ливарні латуні, такі як ЛЦ40Мц3Ж1 (40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Fe, решта Cu) або ЛЦ23А6ЖМц2 (23 % Zn, 6 % Al, 3 % Fe, 2 % Mn, решта Cu).

При зварюванні латуней можливе випаровування цинку внаслідок низької температури його кипіння, що призводить до пористості, зміни фазового складу сплаву та утворення шкідливої отруйної сполуки $Zn0_2$. Попередній підігрів, збільшення швидкості зварювання, додаткове введення у зварювальну ванну кремнію сприяє зменшенню випарювання цинку. За такої технології потрібно забезпечити надійну вентиляцію робочого місця.

Бронзи – мідні сплави (крім латуней). Компоненти бронз позначаються такими ж літерами, як і латуні. Наприклад, бронза БрКМц3-1 містить 3 % Si, 1 % Mn, Cu – решта. Аналогічно розшифровуються марки бронз БрОЦС6-6-3 (6 % Sn, 6 % Zn, 3 % Pb, Cu – решта), БрАЖ9-4 (9 % Al, 4 % Fe, Cu – решта), БрАМц9-2 (9 % Al, 2 % Mn, Cu – решта) тощо. З перелічених бронз найкраща зварюваність у кремнистомарганцевої бронзи. Вона часто використовується як присадний матеріал для зварювання міді та її сплавів. При зварюванні олов'янисто-цинково-свинцовистих бронз неможливо уникнути утворення пор і тріщин внаслідок насичення металу шва газами і значно більшого, ніж в інших мідних сплавів інтервалу температур «ліквідус – солідус».

При зварюванні алюмінієвих бронз треба попередити утворення киснєвмісної плівки Al_2O_3, яка засмічує зварювальну ванну і є причиною появи пор та тріщин. Для цього застосовують спеціальні флюси і зварювання ведуть на змінному струмі.

Нікель та його сплави. Висока стійкість проти корозії у деяких агресивних середовищах, жароміцність, магнітострикційні властивості, здатність зберігати пластичність при високих і низьких температурах, зміцнення при нагартуванні визначили їх використання в хімічному і харчовому машинобудуванні, електрохімії, кріогенній техніці тощо.

Нікель, як і мідь, маркується залежно від чистоти. У марках Н0, Н2 і Н4 міститься нікелю і кобальту відповідно не менше 99,99 %, 99,8 % і 97 %. Напівфабрикатний нікель маркується літерами НП. Метал марки НП-1 містить 99,9 % нікелю і кобальту, НП-4 – 99,0 % вказаних металів.

Найпоширенішим нікелевим сплавом, який зварюється, є монель-метал НМЖМц28-2,5-1,5. Він містить 28 % Cu, 2,5 % Fe, 1,5% Mn. До нікелевокобальтових сплавів належать ніхроми – сплави з високим електричним опором. Склад: хрому від 20 до 23 %, кремнію – від 0,4 до 1,5 %, нікель – решта).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Зварювання нікелю і його сплавів ускладнене у зв'язку з великою чутливістю до шкідливих домішок Fe, S, Bi, Pb, P, Zn і розчинних газів (O_2, H_2 і CO). Останні не встигають виділитися при кристалізації зварювальної ванни, тому внаслідок «водневої хвороби» утворюються пори і тріщини. Причиною появи кристалізаційних тріщин є низькотемпературні евтектики Ni-NiS і Ni-NiP, тому вміст сірки і фосфору в основному металі не повинен перевищувати відповідно 0,001 % і 0,005 %.

Порівняно з нікелем ливарна усадка й електричний опір *сплавів монель-метал і ніхром* більші, а теплопровідність менша. При зварюванні ніхрому утворюється оксидна плівка Cr_2O_3, що ускладнює формування шва.

Свинець. Цей метал відрізняється високою корозійною стійкістю в деяких агресивних середовищах. Застосовується в електротехніці, при виготовленні антифрикційних сплавів.

Часто його використовують як матеріал для плакування сталевих, бетонних і навіть дерев'яних ємностей. Свинець і його напівфабрикати маркуються так: С000 (містить 99,99 % Pb), С1 (99,98 % Pb), С3 (99,9 % Pb).

Шкідливою домішкою, що погіршує зварюваність, є сурма. Вона знижує пластичність шва. Вміст сурми не повинен перевищувати 0,005 %.

Титан і його сплави. Мають високу корозійну стійкість проти окислювання на повітрі і в багатьох агресивних середовищах. Добре обробляються тиском, зберігають високі міцнісні характеристики до 500–600°С, мають низьку питому вагу, завдяки чому використовуються в авіабудуванні й ракетній техніці, хімічному машинобудуванні тощо. Найширше застосовується технічний титан марок ВТ1-00 і ВТ1-0. Шкідливими домішками в ньому є кисень, азот і водень, які спричиняють крихкість титану. Вміст названих газів не повинен перевищувати відповідно 0,15 %, 0,15 % і 0,015 %. Вуглецю має бути не більше 0,1 %.

При нагріванні понад 400°С титан активно реагує із вказаними газами, тому слід захищати від їх потрапляння не лише в плавильний простір, але і пришовну ділянку зварного шва, що охолоджується, і його корінь до температури 400–500°С. При зварюванні можуть з'являтися пори від газів, головним чином, від водню. У зв'язку з цим потрібно додержуватися вимог щодо чистоти основного і присадного металу. Холодні тріщини виникають внаслідок утворення хімічної сполуки гідрида титану, тому до вмісту водню висуваються особливо жорсткі вимоги.

На основі титану розроблено багато його сплавів, наприклад, а-сплав ВТ5 (5 % Al, 0,8 % Mo, решта Ti), псевдо а-сплав ОТ4-0 (1 % Al, 1 % Mo, решта Ti), а + b-сплав ВТ6 (6 % Al, 5 % V, решта Ti) тощо. Їх зварюваність гірша, ніж чистого титану.

Алюміній та його сплави. Ці матеріали найбільш розповсюджені серед кольорових металів за обсягом виробництва металоконструкцій. Завдяки високій корозійній стійкості у багатьох кислих середовищах, малій питомій вазі, високій електро- і теплопровідності, холодостійкості, легкому деформуванню тиском алюмінієві сплави використовують

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

як у деформованому стані, так і у вигляді прокату, литва в багатьох авіакосмічних конструкціях, у транспортному машинобудуванні, у будівництві тощо.

Основні марки деформівного алюмінію і його сплавів АД0 (>99,5 % Al), АД1 (>99,3 % Al), АМг3 (3,5 % Mg, 0,5 % Mn, 0,6 % Si, решта Al), Д16 (4 % Cu, 1,5 % Mg, 0,6 % Mn, решта Al). Найбільш поширені ливарні сплави – АК13 (12 % Si, 0,35 % Mn, 0,2 % Mg, решта Al) і АК9М2 (9 % Si, 0,35 % Mn, 1,5 % Cu, 5 % Mg, решта Al).

Основні труднощі при зварюванні алюмінієвих сплавів пов'язані з необхідністю руйнування оксидної плівки Al_2O_3, яка не розчиняється у рідкому алюмінії, має високу температуру плавлення (~2050°С) порівняно з температурою плавлення алюмінію (~660°С) і засмічує зварювальну ванну.

Для запобігання її утворенню потрібно ретельно готувати поверхні до зварювання, зварювання виконувати на постійному струмі зворотної полярності, на змінному струмі, а також обробляти ванну спеціальними шлаками з фтористих і хлористих солей лужноземельних металів.

Пористість зварних швів зумовлена стрибкоподібним зменшенням розчинення водню при переході металу з рідкого стану в твердий. Для полегшення виходу газових пухирів використовують попередній і супутній підігрів. Утворення кристалізаційних тріщин може спричинити сумісна дія кремнію та заліза, вміст яких треба контролювати. Оскільки сплави мають високі теплопровідність і коефіцієнт лінійного розширення, при зварюванні слід використовувати висококонцентровані джерела нагрівання і застосовувати спеціальні заходи щодо зменшення деформацій зварюваних конструкцій.

Магнієві сплави. Внаслідок малої міцності і недостатньої корозійної стійкості чистий магній малопридатний для виготовлення зварних конструкцій.

Порівняно з алюмінієвими сплавами і сталями вібраційна міцність сплавів магнію з алюмінієм, марганцем, церієм в десятки разів більша. Крім того, магнієві сплави мають низьку питому вагу. Завдяки цим властивостям їх використовують в авіа-, автомобілебудуванні і транспортному машинобудуванні. Оскільки власна оксидна плівка не захищає від проникнення кисню в глибину металу, його поверхня покривається штучною хроматною захисною плівкою. Магнієві сплави поділяються на оброблювані й ливарні. Оброблювані маркуються так: МА1 (2 % Mn, решта Mg), МАЗЦ (3,5 % Al, 0,5 % Zn, 0,3 % Mn, решта Mg); а ливарні – так: МЛ5 (8,5 % Al, 0,3 % Mn, 0,5 % Zn, решта Mg).

Зі збільшенням температури зварювання посилюється окислення магнію, що потребує руйнування плівки шляхом використання змінного зварювального струму.

До першої категорії зварюваності належать магнієві, алюмінієві, нікелеві, титанові сплави, бронза марки БрКМц3-1 і свинець. Вони до-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

бре зварюються майже всіма способами. Мідь і латунь належать до другої категорії, зварюються гірше, при тих же способах потребують підігрівання і проковування швів. Найгірше зварюється бронза БрОЦС5-5-5 (четверта категорії), можливе лише застосування ручного дугового способу з підігріванням і проковуванням. У цілому, кольорові метали мають задовільну зварюваність, їх можна з'єднувати багатьма способами зварювання.

Відповідно до ДСТУ CEN ISO/TR15608:2017 (E) «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами» конструкційні матеріали для зварних металоконструкцій поділяються на окремі групи.

Маркування конкретних матеріалів перерахованих груп визначається за допомогою відповідних довідників.

Таблиця 1.1

Матеріали для зварних металоконструкцій

Матеріали	Категорія зварюваності	Марка матеріалів
1. Сталі звичайної якості (C ≤ 0,25 %, Si ≤ 0,60 %, Mn ≤ 1,8 %, S ≤ 0,045 %, P ≤ 0,045 %), сума домішок, які не є легуючими елементами Cr + + Mo + Ni + Cu + V ≤ 0,75 %. Міцнісні характеристики, наведені у чотирьох підгрупах, лежать у межах 275–360 МПа.	I	Сталь Ст3
2. Термомеханічно оброблені нормалізовані дрібнозернисті сталі і ливарні сталі, наведені у двох підгрупах, міцністю від 360 МПа і вище 460 МПа.	II	Сталь 30
3. Загартовані і відпущені дисперсійно твердіючі дрібнозернисті сталі, окрім нержавіючих, наведені у трьох підгрупах міцністю від 360 МПа і вище 690 МПа.	II	Сталь 45
4. Низькованадієві сталі у двох підгрупах Cr – Mo – (Ni), де V ≤ 0,1 %.	II	Сталь 15ХМ
5. Хромомолібденові сталі без ванадію із вмістом вуглецю ≤ 0,35 % у чотирьох підгрупах.	III	Сталь 20ХМ
6. Хромомолібденові (нікелеві) сталі з вмістом ванадію 0,35 – 0,55 % у чотирьох підгрупах.	III	25Х1МФ
7. Феритні, мартенситні дисперсійнотвердіючі нержавіючі сталі з вуглецем ≤ 0,35 % та 10,5 % ≤ Cr ≤ 30 % у трьох підгрупах.	III	Сталь 0Х17Т
8. Аустенітні сталі з вмістом нікелю ≤ 35 % у трьох підгрупах.	I	Сталь 0Х18Н10

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 1.1

Матеріали	Категорія зварюваності	Марка матеріалів
9. Сталі з вмістом нікелю ≤ 10 % у трьох підгрупах.	II	Сталь 0Н6
10. Аустенітно-феритні сталі у трьох підгрупах.	II	Сталь 0Х20Н14С2
11. Високовуглецеві сталі 0,25 % ≤ С ≤ 0,85 % у трьох підгрупах.	III	Сталь 50
Група алюмінію та його сплавів		
21. Чистий алюміній.	II	АД1
22. Термічно не оброблювані сплави у чотирьох підгрупах.	II	АМг3
23. Термічно оброблювані сплави у двох підгрупах.	II	АД31
24. Сілуміни у двох підгрупах.	II	АК12
25. Алюмінієво-кремнієво-магнієві сплави з 1 % ≤ Cu ≤ 5 %.	III	АК5М
26. Алюмінієво-мідні сплави.	III	1400
Група міді та її сплавів		
31. Мідь із сріблом до 6 % та 3 % Fe.	II	М2
32. Латуні у двох підгрупах.	II	Л63
33. Мідно-олов'яні сплави.	II	БрОФ8-0,3
34. Мідно-нікелеві сплави.	II	БрМНЖ5-1
35. Мідно-алюмінієві сплави.	II	БрАЖ9-4
36. Мідно-нікелево-цинкові сплави.	II	БрМНЦ5-1
37. Мідні сплави із вмістом менше 5 % інших елементів, які не увійшли в групи 31–36.	II	БрХ0,7
38. Мідні сплави з вмістом більше 5 % інших елементів, які не увійшли в групи 31–36.	II	БрКМц3-1
Група нікелю та його сплавів		
41. Чистий нікель.	I	НП1
42–48. Нікель як основа більше 31–45 % з домішками міді хрому, молібдену, заліза, кобальту.	I	НМЖМц 28-2,5-1,5
Група титану та його сплавів		
51. Чистий титан у чотирьох підгрупах.	I	ВТ1-0
52–54. α-сплави, α–β-сплави, β-сплави.	II	ВТ20
Група цирконію та його сплавів		
61. Чистий цирконій.	II	Ц
62. Цирконій з 2,5 % Nb.	II	Ц3Б
Група чавунів		
71. Сірий чавун.	III	СЧ-20
72. Чавун ковкий у п'яти підгрупах.	III	
73–76. Інші чавуни.	III	

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як маркуються сталі?
2. Якими буквами позначаються основні легуючі елементи сталей?
3. Що розуміють під зварюваністю сталей?
4. Чи всі конструкційні сталі мають однакову зварюваність?
5. Яка мета попереднього підігрівання сталей перед зварюванням? До яких температур нагрівають сталі?
6. Яка мета термообробки зварних з'єднань? Які види термообробки застосовують?
7. Чи виготовляють з чавунів зварні конструкції?
8. Як маркуються мідь та її сплави?
9. Назвіть основні види браку при зварюванні міді та її сплавів. Як запобігти неякісному зварюванню?
10. Як маркуються алюміній і його сплави?
11. Який брак можливий при зварюванні алюмінію та його сплавів? Як запобігти браку?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 2

ТИПИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ФОРМИ ПІДГОТОВКИ КРОМОК ПІД ЗВАРЮВАННЯ. СТАНДАРТИ НА ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ

Перед зварюванням необхідно провести операцію збирання окремих деталей за допомогою прихваток або у спеціальних кондукторах. Для цього збирані кромки мають бути підготовлені певним способом, що регламентовано ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. «Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань».

Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання у захисному газі, газове зварювання, TIG – зварювання та променеве зварювання сталей.

Частина 2. Зварювання сталей під флюсом.

Частина 3. Зварювання алюмінію та його сплавів в інертному газі плавким і вольфрамовим електродом.

Частина 4. Зварювання плакованих сталей.

Підготовка кромок, рекомендованих у частині 1, стосується процесів зварювання, які згідно з ДСТУ ISO 4063:2014 Перелік і умовні позначення процесів.

Таке позначення для будь-якого процесу містить не більше трьох цифр, які охоплюють: основна група – одна цифра, група – дві цифри і підгрупа – три цифри. Ця система передбачає полегшення процесів комп'ютеризації, розробки креслень і робочих документів, складання технологічних карт зварювальних процесів тощо.

Форми і розміри підготовки кромок під зварювання наведені в таблицях 1–4 частини першої ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 для таких способів зварювання:

(3) – газове зварювання:

(111) – ручне дугове зварювання плавким покритим електродом;

(13) – дугове зварювання плавким електродом у захисному газі, яке включає:

(131) MIG – дугове зварювання суцільним дротом в інертному газі;

(132) MIG – дугове зварювання порошковим дротом з флюсовим наповнювачем в інертному газі;

(133) MIG – дугове зварювання порошковим дротом з металевим наповнювачем в інертному газі;

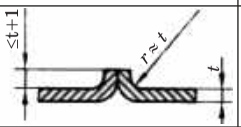
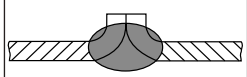
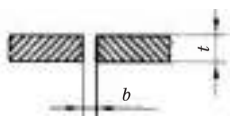
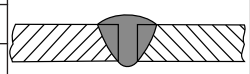
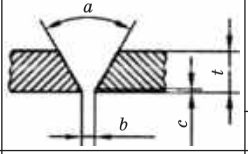
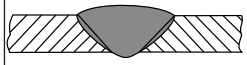
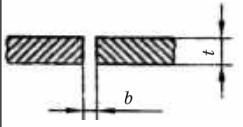
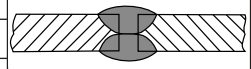
(135) MAG – дугове зварювання суцільним дротом в активному газі;

(136) MAG – дугове зварювання порошковим дротом з флюсовим наповнювачем в активному газі;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 2.1

Підготовка кромок під зварювання

Товщина металу, t, мм	Зварне з'єднання	Поперечний переріз	Розміри			Рекомендований спосіб зварювання відповідно ISO 4063	Зварний шов	Примітка
			кут α	зазор в мм	притуплення в мм			
≤2	стикове однобічне з відбортовкою		–	–	–	3 111 141 512		Без присадного металу
≤4	стикове однобічне без розчищення		–	~t	–	3 111 141		з підкладкою
3 < t ≤ 8				6 ≤ b ≤ 8		13		
				~t		141		
≤15				≤1[d]		52		
				0				
3 < t ≤ 10	стикове однобічне з розчищенням V-подібним		40° ≤ α ≤ 60°	≤4	≤2	3 111 13 141		з підкладкою
8 < t ≤ 12			6° ≤ α ≤ 8°	–		52d		
≤8	стикове двобічне без розчищення		–	≈t/2	–	111 141		–
				≤(t/2)		13		
≤15				0		52		

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 2.1

Товщина металу t мм	Зварне з'єднання	Поперечний переріз	Розміри: кут α	Розміри: зазор в мм	Розміри: притуплення в мм	Рекомендуємий спосіб зварювання відповідно ISO 4063	Зварний шов	Примітка
$3 \le t \le 40$	стикове двобічне з розчищенням V-подібним		$\alpha \approx 60^\circ$	≤3	≤2	111 141		з підкладкою
			$40^\circ \le \alpha \le 60^\circ$			13		
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	кутове однобічне		$70^\circ \le \alpha \le 100^\circ$	≤2	–	3 111 13 141		–
$2 \le t_1 \le 4$ $2 \le t_2 \le 4$	таврове двобічне		–	≤2	–	3 111 13 141		–
				–				

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

(138) MAG – дугове зварювання порошковим дротом з металевим наповнювачем в активному газі;

(141) TIG – дугове зварювання вольфрамовим електродом в інертному газі з присадним суцільним дротом або стрижнем.

(5) Променеве зварювання включає:

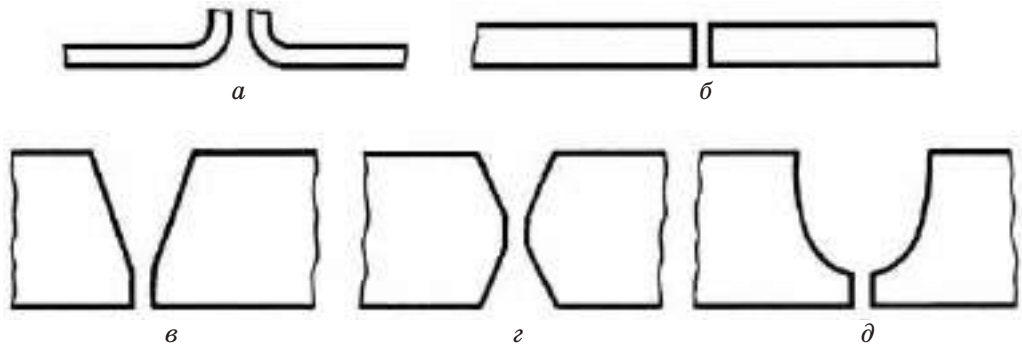
(51) – електронно-променеве зварювання:

(512) – електронно-променеве зварювання в атмосфері;

(52) – лазерне зварювання.

Взаємна комбінація зварюваних елементів визначає існуючі типи зварних з'єднань.

Стикові з'єднання використовують, коли треба з окремих листів виготовити плоску конструкцію заданих розмірів. Іноді її після зварювання формують штампуванням або вальцюванням у циліндричний або еліптичний виріб. Залежно від товщини зварюваних листів і виду зварювання здійснюють підготовку кромки різними стандартизованими способами (мал. 2.1).



Мал. 2.1. **Види підготовки кромок для стикових з'єднань:**
а – з відбортовкою; *б* – без розчищення; *в* – з розчищенням V-подібним; *г* – X-подібним; *д* – U-подібним

Вказаний стандарт регламентує для різних товщин металу тип з'єднання, форму і розміри підготовки кромок, характер зварного шва, форму і конструктивні елементи його поперечного перерізу, умовне позначення зварного з'єднання.

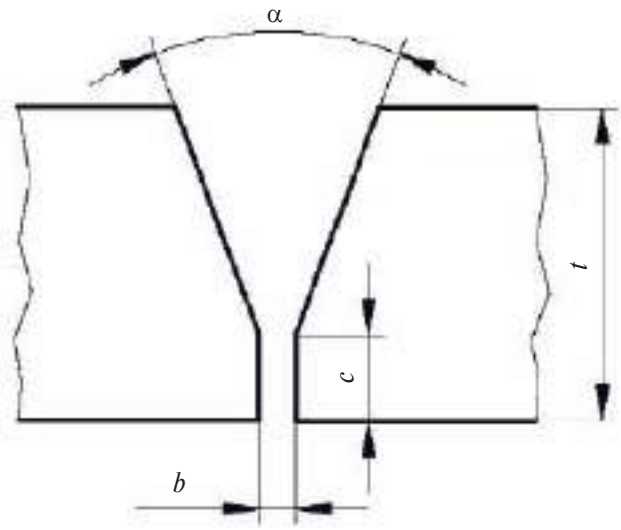
Стандарт також визначає конструктивні елементи підготовки кромок і можливі відхилення їх основних розмірів (табл. 2.1).

При з'єднанні металу завтовшки до 3 мм кромки відбортовують (мал. 2.1, *а*), а потім зварюють переважно без присадного матеріалу неплавким графітовим або вольфрамовим електродом залежно від властивостей металу. Це характерно для виготовлення конструкцій невідповідального призначення, які не несуть значних зусиль і навантажень у процесі експлуатації (каністри, повітропроводи, корпуси вентиляторів, електротехнічні шини тощо).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

У разі можливості повноцінного зварювання з одного або з двох боків розчищення не роблять (мал. 2.1, *б*), але якщо неможливо надійно проварити корінь шва з двох боків, кромки розчищають (мал. 2.1. *в–д*), виконують це механічним або термічним способом (електроповітряна, газова чи плазмова обробка). Основні його параметри показано на мал. 2.2.

Іноді розчищення виконують з метою розміщення в ньому зайвого електродного металу, особливо при зварюванні кутових швів. **V-подібне розчищення** роблять при невеликій товщині зварюваних листів (до 20 мм) у разі неможливості двобічного зварювання, наприклад, при виконанні поздовжнього або кільцевого шва в трубі малого діаметра. Тоді для якісного формування кореня шва використовують знімні або незнімні підкладки. Застосовують також проварювання кореня у висячому положенні вольфрамовим електродом без присадки. Недоліком такого розчищення є збільшені напруження і деформації в конструкції.



Мал. 2.2. **Параметри розчищення кромок стикового з'єднання:**
b – зазор; *c* – притуплення; *a* – кут розкриття кромок; *t* – товщина

Складніше X-**подібне розчищення**. Його виконують при зварюванні металу товщиною 20–40 мм. При цьому досягають вищої продуктивності (потрібна менша кількість наплавленого електродного металу порівняно з V-**подібним розчищенням**). Перевагою є також зменшення напружень і деформацій завдяки симетричній формі розчищення.

Для зварювання металу товщиною більше 40 мм застосовують U-**подібне розчищення**. Воно найскладніше з усіх. Зварювання металу таких товщин виконується здебільшого механізованими способами.

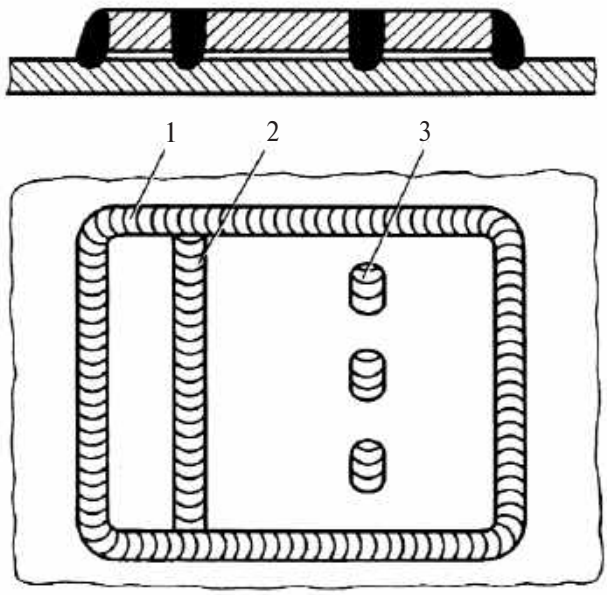
При зварюванні деталей неоднакової товщини конструктивні елементи підготовки кромок і розміри шва потрібно вибирати за більшою

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

товщиною. За більших значень різниці на деталі з більшою товщиною треба зробити скіс з одного або з двох боків до товщини тонкої деталі. При цьому конструктивні елементи підготовлених кромок і розміри зварного шва треба вибирати за меншою товщиною.

З'єднанням внапустку зварюють метал товщиною до 20 мм. Іноді таке з'єднання використовують замість стикового, коли ставиться «латка» невеликої площини або утруднена підгонка листів, наприклад, при зварюванні під водою. Працездатність такого з'єднання нижча, ніж стикового внаслідок додаткового моменту вигину. З'єднання внапустку використовують при встановленні підкріплюючих дублюючих листів, товщина яких не менша за основні, під механізми і пристрої, при облицюванні ємностей та інших елементів апаратів корозійностійким металом.

У цих випадках, крім шва по периметру листа, виконують шви прорізні або електрозаклепками для закріплення по всій поверхні (мал. 2.3).



Мал. 2.3. **З'єднання внапустку швом по периметру (1), прорізним (2) та електрозаклепками (3)**

Кутове з'єднання (мал. 2.4, *а*) використовують, коли треба сформувати об'ємну конструкцію типу котла, ящика, резервуара, балки великого перерізу тощо. При цьому кут між деталями, що з'єднуються, може бути прямим, тупим або гострим. У разі потреби проварювання на всю висоту виконують розчищення за аналогією зі стиковими з'єднаннями.

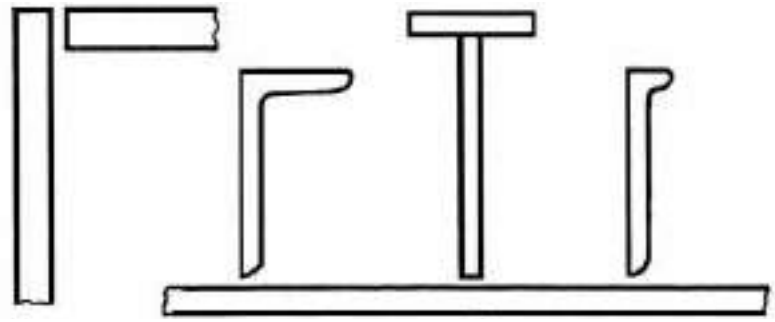
Таврові з'єднання (мал. 2.4, *б*) застосовують для підкріплення ребрами жорсткості плоских листових полотнищ і надання їм стійкості (секції, які формують корпус судна, прямостінні резервуари тощо). Реб-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ра жорсткості у вигляді кутика, тавра або штабобульбові мають встановлюватись на лист тільки стінкою і приварюватися до нього однобічним суцільним швом або двобічним переривчастим, виконаним ланцюжком або у шахматному порядку.

Як ребра жорсткості не рекомендується використовувати такі профілі, як двотавр, швелер або кутик, приварений полицею. Це збільшує обсяг зварювальних робіт, веде до обважнювання конструкції і спричиняє розвиток корозійних процесів під полицею профілю.

При зварюванні кутових швів регламентуються допустимі угнутість і опуклість швів. Угнутість обмежується 30 % розміру катета шва K, але має бути не більшою 3 мм. Така ж допускається і опуклість шва за умови, що вона не зменшує розрахункового розміру катета.



а *б*

Мал. 2.4. **Кутове (*а*) і таврові (*б*) з'єднання**

Розміри катетів кутового шва визначаються на стадії проектування зварної конструкції, але мають бути не більшими 3 мм для деталей завтовшки до 3 мм і не більшими 1,2 товщини тоншої деталі при зварюванні металу завтовшки більше 3 мм.

Граничні відхилення розмірів кожного з катетів кутового шва від номінального значення мають бути 1 мм при $K < 5$ мм і 2 мм при $K > 6$ мм.

Мінімальні розміри катетів кутових швів наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Мінімальні розміри катетів кутових швів для товстішого зварюваного елемента

Границя текучості сталі, МПа	Товщина товстішого зварюваного елемента, мм							
	3–4	4–5	5–10	10–16	16–22	22–32	32–40	40–80
До 400	3	4	5	6	7	8	9	10
400–450	4	5	6	7	8	9	10	12

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які типи зварних з'єднань застосовують? Де вони використовуються?
2. Як готують кромки для зварювання? Назвіть переваги і недоліки окремих видів підготовки.
3. Навіщо розчищають кромки?
4. Як параметри розчищення кромок залежать від виду зварювання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

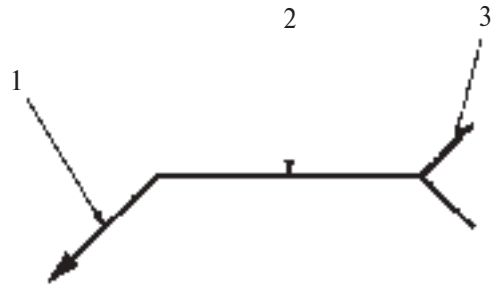
Розділ 3

ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ ШВІВ НА КРЕСЛЕННЯХ

Умовне зображення і позначення зварних з'єднань у технічній документації регламентує ДСТУ ISO 2553:2014 «Зварювання та споріднені процеси. Умовні познаки на кресленнях. Зварні з'єднання».

В кресленнях зварних конструкцій, де наведені типи, товщини і довжини зварних швів, види зварювання, обробка поверхні, присадні матеріали і технологія випробувань можуть бути прямо вказані шляхом використання символів цього стандарту. Існує два підходи щодо зображень позначень: система А, яка відповідає ISO 2553:1992, і система В, яка базується на стандартах, якими користуються країни Тихоокеанського регіону.

Ключем основного зварювального символу є стрілки (1), полиця посилання (2) та хвіст полиці (3) (мал. 3.1).

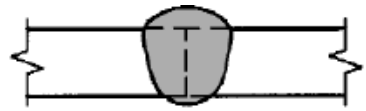
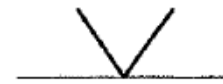


Мал. 3.1. **Основний зварювальний символ**

Приклади деяких символів наведені в таблиці 3.1 та 3.2.

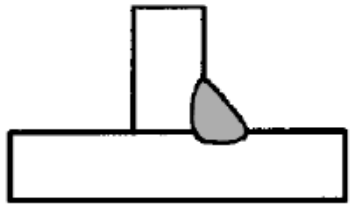
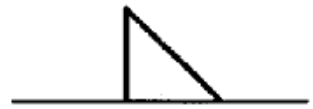
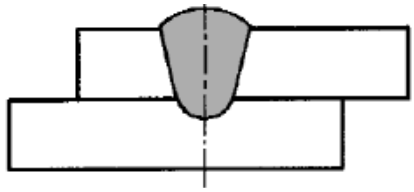
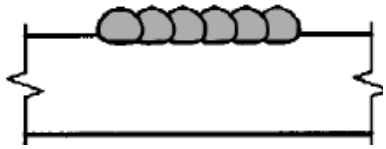
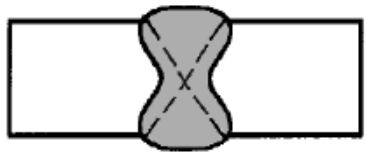
Таблиця 3.1

Приклади простих зварювальних символів

Призначення і назва	Вид шва (пунктирна лінія позначає підготовку кромок під зварювання)	Символ *
Стикове з'єднання без скосу кромок		
Стикове з'єднання з V-подібним розчищенням		

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

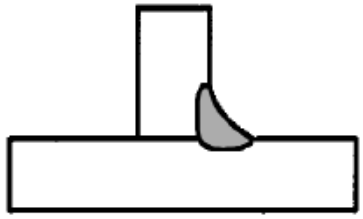
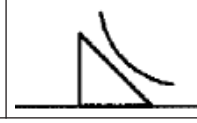
Продовження таблиці 3.1

Призначення і назва	Вид шва (пунктирна лінія позначає підготовку кромок під зварювання)	Символ *
Кутове з'єднання		
Електрозаклепочне з'єднання з проплавленням		
Наплавлений шар		
Двостороннє Х-подібне стикове з'єднання		

* горизонтальна лінія символу не є частиною символу

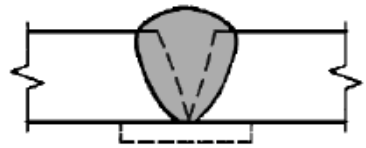
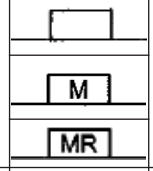
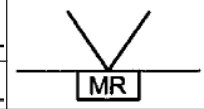
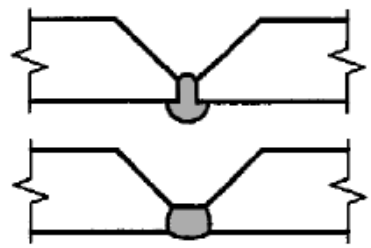
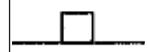
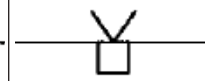
Таблиця 3.2

Додаткові символи

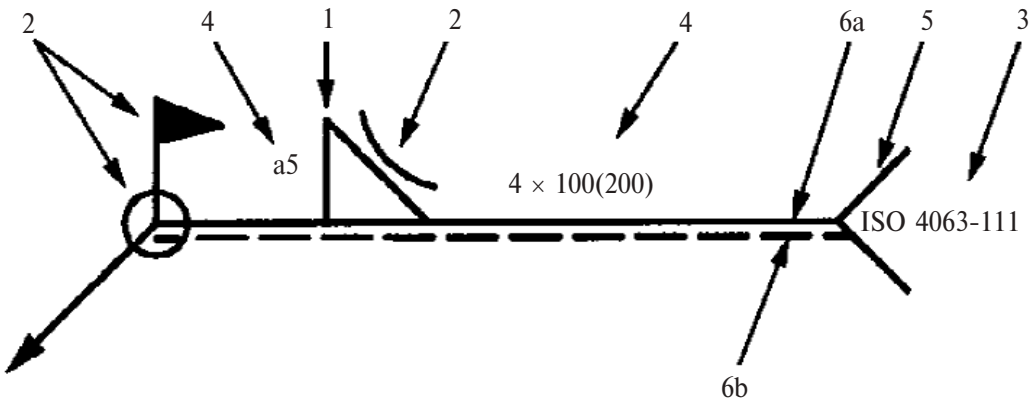
Призначення і назва	Вид шва	Символ	Приклад використання
Стикове з'єднання зі знятим підсиленням			
Прослабдений кутовий шов			

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 3.2

Призначення і назва	Вид шва	Символ	Приклад використання
Невизначена підкладка			
Підкладка, що залишається			
Знімна підкладка			
V-подібне з'єднання зі вставкою, що розплавляється			

На мал. 3.2 наведений приклад зрозумілих зварювальних символів, які вказують на розташування зварювальних елементів відповідно до системи А.



Мал. 3.2. **Приклад використання зварювальних символів**

1 – простий символ (кутовий шов); 2 – допоміжний символ (послаблений кутовий шов по контуру, монтажний шов, шов, зварений по периметру); 3 – додаткова інформація (ручне дугове зварювання покритим електродом (111) відповідно до ДСТУ ISO 4063); 4 – розміри (5 мм номінальної товщини чотирьох переривчастих кутових швів, кожен довжиною 100 мм з відстанню між швами 200 мм); 5 – хвіст полиці; 6a – полиця посилання; 6b – пунктирна лінія (ідентифікаційна лінія) тільки в системі А.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Якими цифрами позначаються види зварювання на кресленнях?
2. Які допоміжні знаки застосовують на кресленнях?
3. Який зв'язок існує між способами зварювання, видом зварного з'єднання і зварюваними товщинами?
4. Які умовні символи застосовуються для позначення зварних швів на кресленнях?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

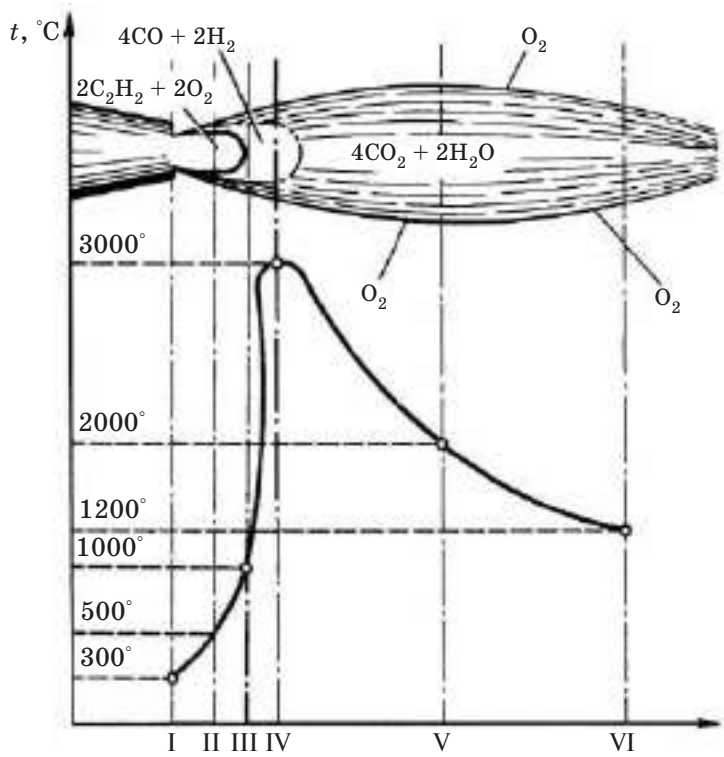
Розділ 4

ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ (3)

4.1. БУДОВА ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПОЛУМ'Я, ЙОГО РІЗНОВИДИ І МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ВАННІ

При газовому зварюванні розплавлення основного і присадного металу здійснюється завдяки теплу, що виділяється при спалюванні в атмосфері кисню горючих газів або пари бензину чи гасу у спеціальних пальниках.

Зварювальне полум'я складається з трьох основних частин: ядра, відновлювальної зони і факела полум'я, причому найбільша температура має місце у відновлювальній зоні (мал. 4.1). Така будова характерна для полум'я більшості газокисневих сумішей.



Мал. 4.1. **Розподіл температури t у звичайному ацетиленокисневому полум'ї:** I – зона на виході із сопла пальника; II – ядро полум'я; III – кінець ядра; IV – відновлювальна зона; V – факел; VI – хвостова частина факела

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Внаслідок згоряння ацетилену в суміші з киснем іде неповна реакція

$$C_2H_2 + 2O_2 = 2CO_2 + H_2,$$

яка закінчується за рахунок кисню з навколишнього повітря:

$$2CO + H_2 + 1{,}5O_2 = 2C_2H_2 + O_2.$$

Залежно від співвідношення суміші $\beta = O_2 : C_2H_2$ можна отримати нормальне або відновлювальне ($\beta = 1–1{,}3$), навуглецьовувальне ($\beta < 1$) і окислювальне ($\beta > 1{,}3$) полум'я. При зварюванні нормальним полум'ям у ванні будуть протікати реакції

$$FeO + CO = Fe + CO_2;\ FeO + H_2 = Fe + H_2O.$$

При зварюванні окислювальним полум'ям окислюються залізо, вуглець, кремній, марганець та інші легуючі елементи згідно з реакціями

$$2Fe + O_2 = 2FeO;\ 2C + O_2 = 2CO;$$
$$2Mn + O_2 = 2MnO;\ Si + O_2 = SiO_2.$$

Утворюваний закис заліза у свою чергу може окислювати частину залишків вуглецю, марганцю і кремнію:

$$C + FeO = CO + Fe;\ Mn + FeO = MnO + Fe;$$
$$Si + 2FeO = SiO_2 + 2Fe.$$

У разі зварювання навуглецьовувальним полум'ям метал насичується вуглецем:

$$3Fe + C = Fe_3C;\ 3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2.$$

При цьому твердість наплавленого металу збільшується. Розглянуті особливості різновидів зварювального полум'я враховуються на практиці.

Так, при зварюванні низьковуглецевої сталі відновлювальним полум'ям не потрібно використовувати спеціальні флюси або покриття. Окислювальне зварювання використовується для з'єднання кольорових металів і сплавів, а навуглецьовувальне рекомендується для зварювання чавуну та наплавлення твердих сплавів. Окрім ацетилену, який утворює полум'я з найбільшою температурою, як горючі компоненти можуть використовуватися гази-замінники й інші речовини (табл. 4.1).

Ацетилен застосовується для зварювання низьковуглецевих і легованих сталей, чавунів, алюмінію і його сплавів, магнієвих сплавів, міді, латуней, бронз, нікелю, ніхрому, свинцю, цинкових сплавів, срібла і скла. Пропан-бутанові суміші, гас і бензин рекомендуються для всіх перерахованих матеріалів, крім легованих сталей, міді, нікелю, ніхрому і срібла. Латуні, бронзи, свинець, цинкові сплави і скло доцільно зварювати, застосовуючи водень або метан. Воднем також зварюються леговані і низьколеговані

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

сталі, метаном – чавуни. Зварювання метаном низьковуглецевих сталей, алюмінію, його сплавів і сплавів магнію обмежене. Обмежується і застосування водню для зварювання чавунів, вуглецевих сталей, алюмінію та його сплавів. Усі інші матеріали зварювати воднем і метаном недоцільно.

Таблиця 4.1

Властивості горючих газів, їх замінників, кисню та умови їх зберігання

Речовина	Максимальна температура полум'я, °С		Стан газу в балоні	Граничний робочий тиск, МПа	Колір балона	Різьба приєднувального штуцера
	з повітрям	з киснем				
Ацетилен	2325	3150	Зріджений	2,5	Білий	Приєднується хомутом
Водень	–	2400–2600	Стиснутий	15	Темно-зелений	∅ 21,8 мм, 14 ниток на 1″, ліва
Метан	1875	2400–2500*	Стиснутий	15	Червоний	
Пропан	1925	2700–2800**	Зріджений	1,6		
Бутан	–	2400–2500		1,6		
Гас	1930	2400–2450		0,3**	Сіро-димчастий	М12
Бензин	1970	2500-2600		0,3*		М12
Кисень	–	–	Стиснутий	15	Блакитний	3/4″, права

* При підігріванні суміші.
** У бачку.

4.2. ОБЛАДНАННЯ Й АПАРАТУРА ТА ЇХНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основним інструментом газозварника є зварювальний пальник – пристрій для змішування горючого газу або пари горючої рідини з киснем і утворення зварювального полум'я.

Незалежно від конструктивних особливостей пальник повинен забезпечувати змішування газів у потрібній пропорції, їх подачу до місця утворення полум'я (мундштука), стале горіння полум'я і регулювання його складу, тобто співвідношення кисню і горючого газу. Різні конструкції пальників можна класифікувати так:

1) за способом подачі горючого газу в камеру змішування – інжекторні і без інжектора;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

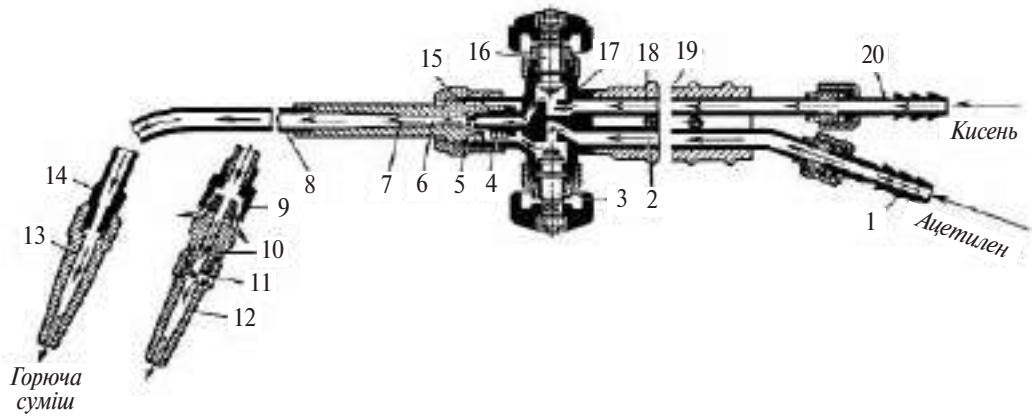
2) за витратою горючого газу – ацетилену – мікропотужні (10–60 л/год), середньої потужності (50–2800 л/год), великої потужності (2800–7000 л/год);

3) за призначенням – універсальні (зварювання, паяння, наплавлення, підігрівання, гартування, поверхневе очищення тощо) і спеціалізовані (лише для однієї операції – зварювання, підігрівання, гартування тощо);

4) за кількістю робочих полум'їв – одно- і багатополуменеві;

5) за способом використання – для роботи вручну, для механізованих процесів.

Найпоширенішими є інжекторні пальники, що працюють на суміші ацетилену з киснем. Такі пальники складаються з двох основних частин – ствола і наконечника (мал. 4.2).



Мал. 4.2. **Конструкція інжекторного пальника:**
1 і 20 – ніпелі ацетиленовий і кисневий; 2 і 18 – ацетиленова і киснева трубки; 3 і 16 – ацетиленовий і кисневий вентилі; 4 – інжектор; 5 і 6 – отвори вихідного каналу інжектора з камери змішування; 7 – камера змішування; 8 – трубка горючої суміші; 9 – підігрівач; 10 – штуцер; 11 – бокові отвори у штуцері 10 для нагрівання суміші; 12 – мундштук для пропан-бутан-кисневої суміші; 13 – мундштук; 14 – ніпель наконечника; 15 – зазор між інжектором і камерою змішування; 17 – корпус; 19 – рукоятка

Ствол має кисневий 1 і ацетиленовий 20 ніпелі з відповідними трубками 2 і 18, рукоятку 19, корпус 17 з кисневим 16 і ацетиленовим 3 вентилями. З правої сторони пальника, якщо дивитись у напрямку потоку газів, розміщено кисневий вентиль 16, а зліва – ацетиленовий вентиль 3. Вони призначені для пуску, регулювання витрати і перекривання подачі газу при погашенні полум'я. Наконечник, що складається з інжектора 4, камери змішування 7 і мундштука 13, приєднується до корпусу ствола пальника накидною гайкою. Інжектор 4 являє собою циліндричну деталь з центральним каналом малого діаметра для кисню і периферійними радіально розташованими каналами для ацетилену.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Інжектор встановлено у камері змішування наконечника між камерою змішування і газопідвідними каналами корпусу пальника. Його призначення – утворення за рахунок високої швидкості кисневого струменя (300 м/с) розрідженого стану і засмоктування ацетилену з тиском не нижче 0,001 МПа. Кисень надходить через вентиль 16 з тиском 0,05–0,4 МПа. У камері змішування він змішується з ацетиленом. Їх суміш надходить у канал мундштука, звідки вона виходить зі швидкістю 100–140 м/с і при запалюванні утворює полум'я температурою до 3150°С. До комплекту пальника входять кілька наконечників (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Універсальні ацетиленокисневі пальники

Тип	Модель	Маса, кг, не більше	Номери наконечників	Внутрішній діаметр приєднувального рукава, мм
Г1 (мікропотужності)	ГС	0,4	000; 00; 0	4
Г2 (малої потужності)	Г2-04	0,7	0; 1; 2; 3; 4	6
Г3 (середньої потужності)	Г3-03	1,2	1; 2; 3; 4;	9
Г4 (великої потужності)	ГС-4	2,5	8; 9	9
Примітки: 1. Пальник типу Г1 – безінжекторний, Г2, Г3, Г4 – інжекторні. 2. Пальник ГС-4 призначений для підігрівання. Пальник Г2-04 за конструкцією подібний до пальників Г2-02, «Звездочка», «Малютка».				

Кожному номеру наконечника відповідають розміри каналів інжектора і мундштука, за рахунок чого можна змінювати витрату кисню й ацетилену при зварюванні (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Технічні характеристики інжекторних пальників

Номер наконечника	Товщина зварюваної низьковуглецевої сталі, мм	Витрата, л/год		Тиск на вході в пальник, МПа	
		ацетилену	кисню	ацетилену	кисню
0	0,2–0,5	40–50	45–55	0,001–0,1	0,15–0,3
1	0,5–1	65–90	70–100	0,001–0,1	0,15–0,3
3	2–4	250–350	270–380	0,001–0,1	0,2–0,3
4	4–7	420–600	450–650	0,001–0,1	0,2–0,3

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 4.3

Номер наконечника	Товщина зварюваної низько-вуглецевої сталі, мм	Витрата, л/год		Тиск на вході в пальник, МПа	
		ацетилену	кисню	ацетилену	кисню
5	7–11	700–950	750–1000	0,001–0,1	0,2–0,3
6	11–17	1130–1500	1200–1650	0,001–0,1	0,2–0,35
7	17–30	1800–2500	2000–2800	0,01–0,1	0,2–0,4
8	30–50	2500– 4500	3000–5600	0,03–1	0,25–0,5
9	Більше 50	4500–7000	4700–9300	0,03–1	0,25–0,5

Конструкція пропан-бутан-кисневих пальників відрізняється від ацетиленокисневих тим, що перед мундштуком є пристрій 9 (мал. 4.2) для підігрівання пропан-бутан-кисневої суміші, що потрібно для підвищення температури полум'я. Технічні характеристики таких пальників наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Пальники для зварювання газами – замінниками ацетилену

Номер наконечника	Витрата, л/год			Тиск, МПа		Товщина зварюваного металу, мм
	пропан-бутану	метану	кисню	горючого газу	кисню	
ГЗУ-3						
1	25–60	70–170	105–260	0,003	0,1–0,4	0,5–1,5
2	60–125	170–360	260–540	0,003	0,15–0,4	1,5–2,5
3	125–200	360–560	540–840	0,003	0,2–0,4	2,5–4
4	200–335	560–940	840–1400	0,003	0,2–0,4	4–7
ГЗУ-4						
5	400–650	1020–1650	1350–2200	0,02	0,2–0,4	–
6	650–1050	1650–2700	2200–3600	0,02	0,2–0,4	–
7	1050–1700	2700– 4500	3600–5800	0,02	0,2–0,4	–
–	1100–1300	–	–	–	–	–

Примітка. Пальник ГЗУ-3 – універсальний; ГЗУ-4 – для зварювання чавуну і кольорових металів (окрім міді), а також для наплавлення, паяння, нагрівання; ГД-Д1 – газоповітряний з максимальною температурою нагрівання до 700°С, масою – 0,35 кг.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Окрім того, практикується використання спеціальних комплектів для зварювальних і різальних робіт (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Газозварювальні комплекти

Марка комплекту	Товщина сталі, мм		Габаритні розміри, мм	Маса, кг
	зварюваної	розрізуваної		
КГС-1-72	0,5–7	3–50	326 × 240 × 78	3,45
КГС-2А	2–17	3–70	426 × 275 × 75	4,85
Примітка. До складу комплекту КГС-1-72 входять пальник Г2-04 і різак вставний РГМ-70; до комплекту КГС-2А – пальник ГЗ-03 і різак вставний РГС-70. В обидва комплекти входять змінні наконечники, мундштуки і футляр.				

Перед початком роботи і при заміні мундштука треба перевіряти пальник на інжекцію (розрідження). Для цього з ніпеля знімається ацетиленовий рукав і відкривається кисневий вентиль. В ацетиленовому ніпелі справного пальника має бути підсос, що перевіряється торканням пальця до отвору ніпеля. Мундштук працює в умовах високої температури, піддається механічному руйнуванню від бризок і потребує відповідного нагляду. Подряпини, задири, нагар на стінках отвору вихідного каналу мундштука знижують швидкість витікання горючої суміші, сприяють стукоту і зворотним ударам, спотворюють форму полум'я. У зв'язку з цим їх вилучають підрізанням торця мундштука на 0,5–1 мм, калібруванням і поліруванням вихідного отвору спеціальними розвертками. Ефективним може бути використання мундштуків зі змінними соплами.

Живлення пальників ацетиленом здійснюється з балонів. На відміну від зріджених газів, ацетилен зберігають і транспортують у сталевих балонах, наповнених спеціальною пористою масою з ацетоном, в якому і розчиняється ацетилен. Кількість ацетилену визначається зважуванням його до і після наповнення. За нормальних умов з повного балона можна одержати 5,32 м^3 ацетилену.

Для зварювання під флюсом використовують спеціальний пост УФП-1, яким у полум'я пальника подається пара флюсу БМ-1, при згоранні якої утворюється оксид бору. До названого поста входять газорозбірні пости ПГУ-5 і ПГК-10, флюсоживильник ФГФ-3, осушник ацетилену ОАФ-3, економайзер і рукава.

Найбільша витрата кисню й ацетилену – 3,2 м^3/год, флюсу – 30–100 г на 1 м^3 горючого газу, місткість резервуара флюсоживильника – 5,2 л, маса силікагелю в осушнику – 5,3 кг. Для дрібних робіт використовують переносні установки, наприклад ПГУ-3. Вона має таку технічну характеристику: найбільша товщина зварюваної сталі – 4 мм, розрізуваної – 12 мм;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

витрата кисню при зварюванні – 0,05–0,84 м^3/год; при різанні – 2–3 м^3/год; тиск кисню при зварюванні – 0,05–0,4 МПа, при різанні – 0,3–0,4 МПа; місткість кисневого балона – 5 л; витрати пропан-бутанової суміші – 0,025–0,200 м^3/год, її тиск – до 0,003 МПа; місткість балона для пропан бутанової суміші – 4 л; габаритні розміри установки – 420 × 280 × 560 мм, її маса – 22 кг.

Кисень одержують розкладанням води під дією електричного струму або глибоким охолодженням повітря. Його чистота має велике значення, особливо для кисневого різання. Зберігається кисень під тиском у балонах (табл. 4.1), які треба захищати від забруднення мастилами. До балона приєднується редуктор для зниження тиску газу до робочого значення незалежно від тиску газу в балоні або в мережі. Принцип дії всіх редукторів однаковий (мал. 4.3).

Редуктор має дві камери: високого тиску 2 і низького 6. Камера 2 сполучається з балоном, і тиск у ній такий же, як у балоні. Між першою і другою камерами встановлено клапан 1, на який діють пружини 5 і 8.

Газ, проходячи через клапан 7, долає великий опір і втрачає тиск (мал. 4.3, *б*). Залежно від співвідношення зусиль стискання пружин клапан буде або закритим (зусилля пружини 5 більше зусилля пружини 8), або відкритим (зусилля пружини 8 більше, ніж зусилля пружини 5). Чим більше стиснута пружина 8, тим більше відкритий клапан 7 і вище тиск у камері 6. Стискання пружини регулюється обертанням гвинта 11: при його вивертанні пружина 8 стискається і навпаки. Для того щоб клапан 7 був закритий, треба повністю послабити пружину 8. Камера 6 сполучається газовим вентилем 10 з пальником, і тиск газу в ньому буде зрівнюватися з тиском у камері 6. Редуктор має запобіжний клапан 9. Тиск в обох камерах вимірюється манометрами; їхні показання повинні відповідати справжньому тиску газу, для чого їх треба піддавати держперевірці один раз на рік.

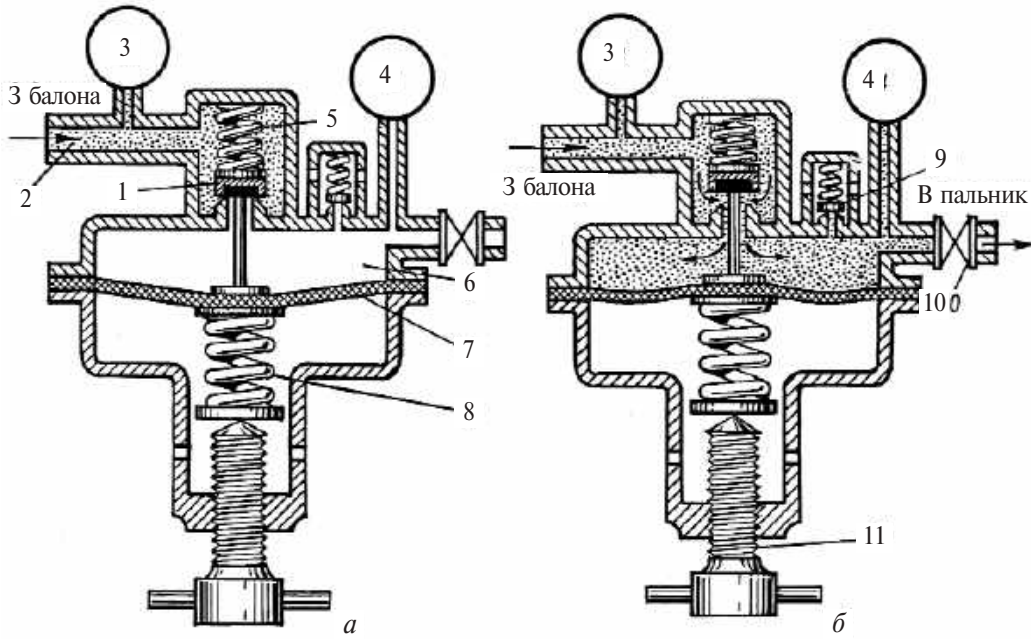
Якщо при якомусь положенні гвинта 11 витрата і надходження газу в редуктор рівні, то робочий тиск залишається постійним і мембрана 7 перебуває в одному стані. Коли кількість газу, що витрачається з редуктора, більша, ніж надходить до нього, тиск у камері 6 знижується, пружина 8 подовжується, деформуючи мембрану 7, клапан 1 відкривається, внаслідок чого подача газу в камеру 6 збільшується. При зменшенні витрати газу тиск у камері 6 піднімається, зусилля, що діє на мембрану 7, збільшується, мембрана вигинається в протилежну сторону і стискає пружину 8. При цьому клапан 1 буде закриватися, і надходження газу зменшеться. Отже, мембрана забезпечує автоматичне регулювання тиску.

Редуктори класифікуються за принципом дії (прямої і зворотної), пропускної спроможності, робочим тиском і родом газу тощо. В основному тип його вибирається залежно від необхідних витрат газу.

Для подавання газів із балона до пальника застосовуються спеціальні рукави, які мають внутрішні діаметри 6, 9, 12 і 16 мм. Рукави поділя-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ються на три класи. До класу I належать рукави для ацетилену, метану, пропан-бутанової суміші. Вони розраховані на робочий тиск 0,63 МПа. Колір рукава червоний.



Мал. 4.3. **Схема роботи редуктора в закритому (*а*) і робочому стані (*б*):**
1 і 9 – клапани; 2 і 6 – камери відповідно високого і низького тиску; 3 і 4 – манометри відповідно високого і низького тиску; 5 і 8 – пружини; 7 – мембрана; 10 – вентиль; 11 – гвинт

Рукави класу II застосовуються для рідкого палива. Робочий тиск 0,63 МПа. Колір рукава жовтий.

Для кисню призначені рукави класу III. Робочий тиск становить 2 МПа. Колір рукава синій.

Замість суцільного фарбування, можуть бути нанесені дві кольорові смуги зовні на рукаві. Рукави всіх класів, придатні до роботи в районах з холодним і тропічним кліматом, можуть бути пофарбовані в чорний колір.

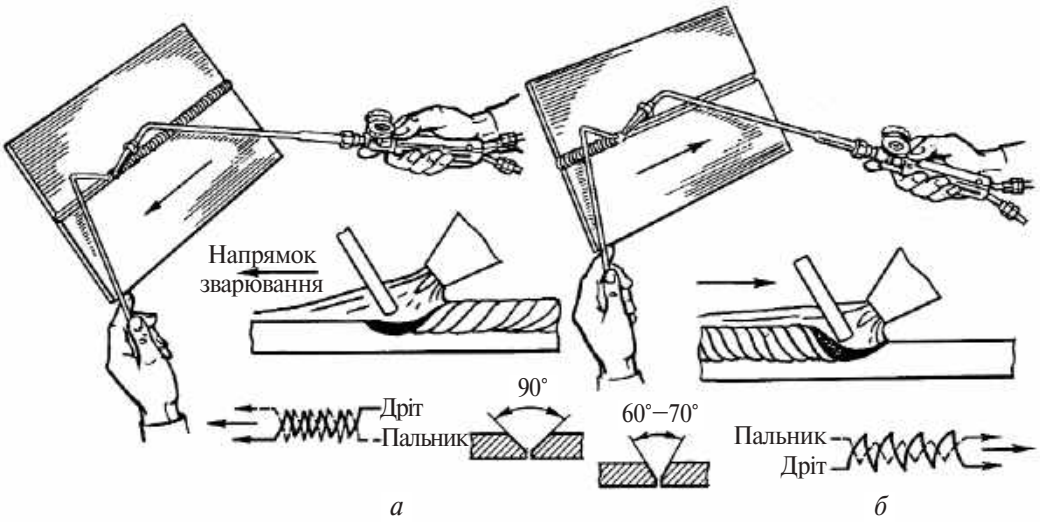
4.3. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Застосовуються два способи зварювання – правий і лівий.

Лівий спосіб (мал. 4.4, *а*). Зварюють справа наліво, полум'я спрямовують на ще не заварені кромки металу, а присадний дріт переміщують попереду полум'я. При такому способі зварник краще бачить зварюва-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ний метал, попереднє підігрівання кромок сприяє доброму перемішуванню зварювальної ванни. Застосовується для зварювання тонколистових і легкоплавких металів.



Мал. 4.4. **Схеми лівого (*а*) і правого (*б*) способів зварювання**

Правий спосіб (мал. 4.4, *б*). Зварювання відбувається зліва направо, полум'я спрямовують на зварену ділянку шва, а присадний дріт переміщують за пальником. Це забезпечує кращий захист зварювальної ванни від кисню й азоту повітря, більшу глибину проплавлення, уповільнене охолодження металу шва, підвищення продуктивності на 20–25 % і зниження витрати газів на 15–20 %.

Режим зварювання залежить від теплової потужності зварювального полум'я, його виду, марки і діаметра присадного дроту, швидкості нагрівання, напрямку руху кінця мундштука, його кута нахилу, флюсу і просторового положення шва.

Теплова потужність зварювального полум'я. Визначається витратою ацетилену, що проходить за одну годину через пальник і регулюється змінними наконечниками пальника:

$$Q_A = AS,$$

де Q_A – витрата ацетилену, л; S – товщина металу, мм; A – емпіричний коефіцієнт; для вуглецевих сталей, міді та алюмінію, цей коефіцієнт становить відповідно 100–130, 150 і 75.

Потужність пальника при правому способі зварювання вибирають з розрахунку 120–150 л/год ацетилену, а при лівому – 100–130 л/год на 1 мм товщини зварюваного металу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Вид полум'я. Залежить від відношення $\beta = Vo_2 : Vc_2н_2$. Для нормального полум'я це відношення становить 1–1,3, для окислювального перевищує 1,3, для навуглецьовувального менше 1.

Газозварник встановлює і регулює полум'я, забезпечивши розміри і форму полум'я в залежності від виду полум'я. Нормальним полум'ям зварюють більшість сталей, окислювальним – латуні, навуглецьовувальним – чавун.

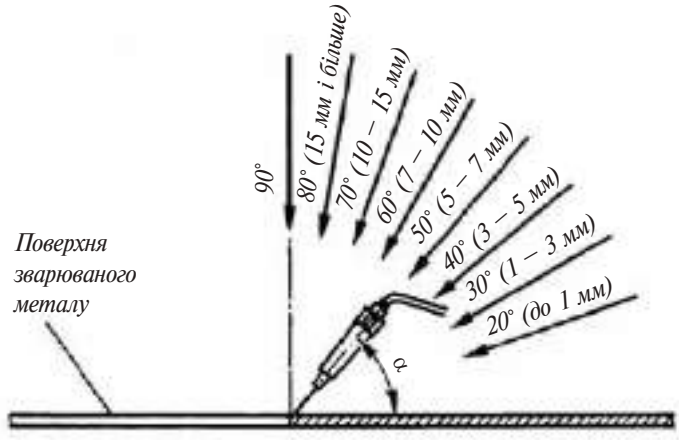
Марка присадного дроту. Має відповідати складу зварюваного матеріалу. Його діаметр вибирають залежно від товщини металу та способу зварювання. При правому способі $d = S/2$, але не більше 6 мм, при лівому $d = S/2 + 1$, де S – товщина металу, мм.

Швидкість нагрівання. Регулюється зміною кута нахилу мундштука до поверхні металу. Чим товстіший метал і більша його теплопровідність, тим більший кут нахилу мундштука до поверхні.

Застосовуються поперечний і поздовжні рухи кінцем мундштука пальника. Основним є поздовжній, а поперечний рух застосовують для рівномірного прогрівання кромок основного металу та одержання шва потрібної ширини.

Кут нахилу мундштука пальника. Збільшують з підвищенням товщини сталі (мал. 4.5). З підвищенням теплопровідності металів кут нахилу треба ще збільшувати.

Флюс застосовують для захисту розплавленого металу від окислення та видалення з нього окисів. Вводиться різними способами: підсипають совком, готують пасти і наносять на кромки деталей, присадний матеріал у порошкоподібному та газоподібному вигляді крізь пальник вводять безпосередньо у зварювальне полум'я. Як флюси використовують буру, борну кислоту, оксиди та солі барію, калію, літію та ін.



Мал. 4.5. **Кути нахилу мундштука пальника залежно від товщини зварюваної сталі**

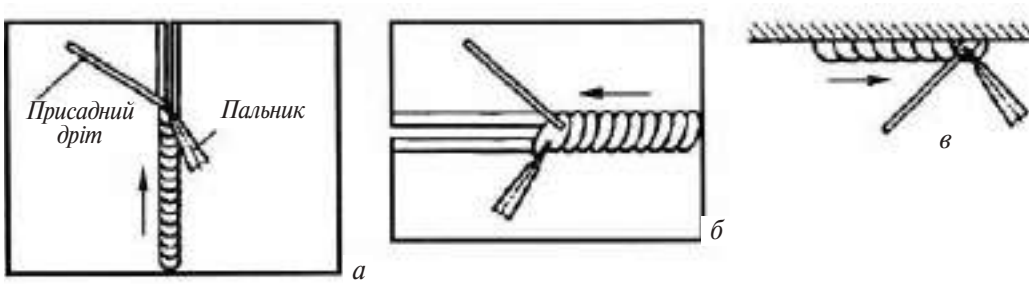
Газовим зварюванням можна виконувати всі види зварних швів у всіх просторових положеннях: нижньому, вертикальному, горизонталь-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ному, стельовому і похилому. У нижньому положенні зварювання не викликає труднощів. При виконанні вертикальних швів знизу до верху зручніше використовувати лівий спосіб зварювання наскрізним або подвійним валиком. У нижній частині стику проплавляється наскрізний отвір. Поступово піднімаючи полум'я догори, розплавляють верхню частину отвору, а вводячи присадний метал – заварюють нижню його частину. Кут між осями пальника і присадного дроту дорівнює 50°, між вертикаллю і віссю пальника – 50° (мал. 4.6, *а*).

Горизонтальні шви частіше виконують правим способом (мал. 4.6, *б*), при якому газовий потік полум'я направлений на шов і перешкоджає стіканню металу зі зварювальної ванни. На відміну від звичайного правого способу зварювання здійснюють справа наліво, а зварювальній ванні дають невеликий нахил, спрощуючи формування шва.

Стельові шви також краще зварювати правим способом (мал. 4.6, *в*). У цьому разі кінець присадного дроту і тиск газового потоку перешкоджають стіканню рідкого металу вниз.



Мал. 4.6. **Техніка зварювання вертикальних (*а*), горизонтальних (*б*) і стельових (*в*) швів**

4.4. МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЯ

Сталі і чавуни. Зварювання стикових з'єднань здійснюється залежно від товщини металу однобічними або двобічними швами. Якщо товщина від 1 до 5 мм, застосовуються однобічні шви, кромки не обробляються, зварюють на підкладці або без неї, з зазором 0,5–3 мм. Кромки металу завтовшки 5–15 мм обробляють з однієї або двох сторін.

При товщині металу 15–25 мм застосовується двобічне з'єднання, обробляються обидві кромки (Х-подібна підготовка), величина зазору і притуплення становить 2–4 мм, а кут обробки кромок 35–45°.

Присадні матеріали і параметри режиму вибирають залежно від складу зварюваної сталі. Для низьковуглецевих сталей (до 0,25 % С) як присадний матеріал використовується дріт марки Св-08, Св-08А, Св-10Г2 діаметром 2–5 мм, витрата ацетилену на 1 мм товщини зварюваного металу становить 100–300 л/год при лівому способі і 120–150 л/год

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

при правому способі. Флюс не потрібний, бажане проковування шва в гарячому стані.

При використанні газів-замінників ацетилену потрібні дроти марок Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-15ГЮ.

Зварювання *середньовуглецевих сталей* (0,25–0,6 % С) виконується з присадними дротами марок Св-18ХС, Св-06Н3 лівим способом з витратою ацетилену 70–100 л/год на 1 мм товщини зварюваного металу. Флюс не потрібний, але при товщині сталі більше 3 мм застосовується або загальне підігрівання до 250–300°С, або локальне до 650–750°С.

Високовуглецеві сталі (0,6 % С і більше) зварюють з використанням присадних дротів марок Св-18ХС і Св-06Н3 лівим способом нормальним або слабоокислювальним полум'ям. На 1 мм товщини зварюваного металу витрачається 75 л/год ацетилену. Як флюс застосовують буру. При товщині сталі до 6 мм якісного зварювання можна досягти за умови поєднання загального підігрівання до 250–300°С з локальним до 650–700°С.

Низьколеговані конструкційні сталі типу 10ХСНД, 25ХГСА зварюють без флюсу присадними дротами марок Св-08А, Св-18ХГС, Св-18ХМА лівим способом з витратою ацетилену на 1 мм товщини зварюваного металу 75–100 л/год. При зварюванні правим способом витрата ацетилену 100–130 л/год.

Для зварювання *теплостійких сталей* марок 15М, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х1МФ застосовують присадні дроти марок Св-18ХМА, Св-08ХМ,

Св-08ХНМ без флюсу лівим способом. Витрата ацетилену на 1 мм товщини зварюваного металу 100 л/год.

Складніше зварювання *високолегованих хромистих і хромонікелевих сталей* марок 10Х13, 10Х18Н10Т і їм подібних. Як присадні використовують дроти таких марок, як Св-04Х18Н9, Св-08Х18Н10Б. Зварювання виконують лівим способом з витратою ацетилену на 1 мм товщини зварюваного металу 75 л/год. Флюс потрібен обов'язково. Застосовують різні суміші (80 % плавикового шпату і 20 % феротитану; 50 % бури і 50 % борної кислоти; 80 % бури і 20 % оксиду кремнію). Його наносять у вигляді пасти на кромки і зворотний бік шва за 15–20 хв до зварювання.

Аустенітні сталі зварюють швидко, без підігрівання, пришовну зону захищають мокрим асбестом. Одразу після зварювання проводять охолодження водою або стиснутим повітрям. Задовільної якості можна досягти при товщині сталі до 2 мм. Хромисті сталі типу Х13 зварюють з локальним підігріванням до 200–250°С, тонкі листи – лівим способом, товстіші – лише правим.

Чавуни. Технологія зварювання чавунів залежить від характеру дефектів і вимог до якості наплавленого металу.

Для різних дефектів невеликих і середніх розмірів на оброблюваних

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

і відповідальних необроблюваних поверхнях застосовується гаряче зварювання (попереднє підігрівання до 650–700°С) з використанням чавунних присадок марок ПЧ-1, ПЧ-2, ПЧ-3, у вигляді прутків діаметром від 4 до 16 мм і довжиною від 250 до 700 мм відповідно. При цьому досягається хороша оброблюваність і цільність, відповідність структурі, твердості, міцності і кольору основного металу. Такий же результат можна одержати при низькотемпературному паянні – зварюванні, коли основний метал не доводиться до розплавлення, а присадним металом є чавунні прутки ПЧН-1, ПЧН-2 або латунь.

Несуцільні дефекти невеликих і середніх розмірів, виявлені при механічній обробці, усуваються газопорошковим наплавленням самофлюсованими сплавами типу НПЧ. Використання флюсів є обов'язковим. Для газового зварювання застосовується флюс марки ФСЧ-1 (кальцій вуглекислий – 30 %, бура зневоднена – 50 %, натрій азотнокислий – 20 %), для паяння-зварювання чавуном – флюс марки ФСЧ-2 (кальцій вуглекислий – 26,5 %, бура зневоднена – 23 %, натрій азотнокислий – 50 %, літій азотнокислий – 0,5 %), для паяння-зварювання чавуном і сплавами на мідній основі – флюс марки МАФ-1 (кальцій вуглекислий – 12 %, бура зневоднена – 33 %, натрій азотнокислий – 27 %, оксид кобальту – 7 %, натрій фтористий – 12,5 %, фторцирконат калію – 8,5 %).

Зварювання виконується нормальним полум'ям з попереднім підігріванням деталі до температури 650°С. Якщо площа дефекту менша 5 см^2, застосовують наконечник № 5, якщо площа 5–25 і більше 25 см^2 – наконечники відповідно № 6 і № 7–8. Діаметр присадного прутка теж залежить від площі дефекту.

Для дефекту площею до 25 см^2 потрібен присадний пруток діаметром 6–8 мм, для дефектів площею 20–60 і більше 60 см^2 – прутки діаметром відповідно 10–12 і 14–16 см^2.

Спочатку підігрівають основний метал навколо дефекту до світло-червоного кольору. Потім оплавлюють поверхню обробки і ванним способом заповнюють її присадним матеріалом, занурюючи його у флюс. Охолодження уповільнене: пальник відводиться на 50–100 мм, витримується у такому положенні 1–2 хв, потім деталь закривають асбестом і гарячим піском або завантажують її у піч з температурою 650–750°С, а потім охолоджують з піччю.

При паянні-зварюванні процес ведуть нормальним полум'ям наконечниками пальника № 4 і № 5, не розплавляючи основного металу. Присадним матеріалом слугують стандартні латунні прутки марок ЛОК 59-1-0,3, ЛК 62-0,5, Л62, Л63 і сплав ЛОМНА (латунь ЛОМцНА 49-1-10-4-0,4). Як флюс використовують марки ФПСН-1, ФПСН-2, МНФ-1. Максимальна температура нагрівання основного металу не перевищує 850–950°С, а індикатором її досягнення є розплавлення флюсу. Кромки засипають флюсом і облужують їх ділянками, натираючи прутком латуні. Потім у гаря-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

чій зоні полум'я розплавляють присадний матеріал і заповнюють розширення, а гарячий метал проковують.

Кольорові метали. Зварювання *міді і її сплавів* виконують, в основному, ацетиленокисневим полум'ям; газозамінник застосовують тільки для металу малих товщин. Потужність полум'я майже удвічі більша, ніж для зварювання сталі. Великі товщини зварюють двома, а то і трьома пальниками (у цьому разі два з них підігрівають метал) в один шар з максимальною швидкістю, щоб уникнути росту зерна й утворення пор. Мідь і бронзу зварюють нормальним полум'ям, а латунь – окислювальним для зменшення розчинення водню в рідкому металі і зниження інтенсивності випарювання цинку. Як присадку використовують мідний дріт з 0,2 % Р, як розкислювач – фосфор і кремній. Діаметр дроту залежить від товщини зварюваного металу.

Товщина металу, мм.....	1,5	1,5–2,5	2,5–4	4–8	8–15	15
Діаметр присадки, мм	1,5	2	3	4–5	6	8

При зварюванні мідних сплавів, до складу яких входять активні розкислювачі (Al, Si, Mn), можна застосовувати присадку того ж складу, що й основний метал. Флюс використовують на основі бури і борної кислоти. Мідь товщиною до 3 мм зварюють без розчищення кромок, зазор до 1 мм. При більших товщинах роблять V-подібне розчищення з кутом 60–70°, притуплення 1,5 мм, зазор до 1,5 мм. Полум'я пальника направляють під прямим кутом до зварюваних деталей на відстані ядра до поверхні не більше 5–6 мм.

Зварювання ведуть лівим способом, без зупинок, на підвищеній швидкості. Рекомендується після зварювання проковувати шви для одержання мілкозернистої пластичної структури. Латунь і бронзу після зварювання потрібно відпалювати при температурі відповідно 600–700°С і 500–600°С.

Зварювання *нікелю та його сплавів* виконується за технологією, подібною до зварювання міді. Використовується нормальне полум'я або трохи відновлювальне при витраті ацетилену 120–130 л/год на 1 мм товщини металу. Як флюс може застосовуватися чиста бура або багатокомпонентна композиція (30 % бури, 50 % борної кислоти, 10 % NaCl, 10 % КЛ). Присадним матеріалом слугує нікелевий дріт, легований до 3 % Mn. Нормалізація з'єднань при температурі 825–900°С збільшує їх пластичність і в'язкість.

Зварювання *ніхрому* треба виконувати швидко, без перерв, з витратою ацетилену 50–70 л/год на 1 мм товщини. Рекомендується багатокомпонентний флюс (див. вище), а присадний метал (ніхром) має містити менше вуглецю і хрому, ніж основний метал.

Зварювання *свинцю* виконується нормальним полум'ям при невеликій витраті ацетилену – 50–100 л/год. Як присадний пруток використ-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

товується круглий свинцевий пруток або «лапша», нарізана з листів, довжиною не більше 400 мм. Діаметр присадки треба вибирати залежно від товщини зварюваного металу. При товщині 0,8–1,2 мм діаметр прутка становить 3 мм, при товщинах 1,5–2,0, 2,5–3,0 і 4–8 мм відповідно 6, 8 і 10–12 мм.

Метал товщиною до 4 мм зварюють без розчищення і зазору, більші товщини потребують розчищення під кутом 60–90° без зазору.

Як флюс використовують суміш 50 % стеаріну і 50 % каніфолі. Він не реагує зі свинцем і лише захищає його від окислювання. Сумішшю натирають зачищені кромки листів і поверхню присадних прутів. У процесі зварювання оксиди свинцю спливають на розплавлену плівку флюсу й полум'ям пальника «відганяються» від місця зварювання. При товщині металу більше 2 мм зварювання виконують в декілька шарів лівим способом. Шов утворюється з окремих ділянок, що перекривають одна одну. При виконанні багатопрохідних швів перший шов виконують без присадки.

Алюміній та його сплави зварюють після складної підготовчої роботи з метою видалення оксидної плівки Al_2O_3 у біляшовній зоні спочатку механічним способом за допомогою сталевих щіток або шабера, а потім травленням 40 %-ним розчином NaOH протягом 1 хв. Освітлюють чистий алюміній і сплави АМц 30 %-ним розчином азотної кислоти, а сплави АМ – 26 %-ним розчином ортофосфорної кислоти з наступним промиванням проточною водою. Підготовлена таким чином поверхня зберігає свої властивості 3–4 дні, після чого потрібно всі ці операції повторювати.

Зварювальний дріт також обробляється: проводиться знежирення, травлення у 15 %-ному розчині NaOH протягом 5–10 хв при 60–70°С, промивання в холодній воді, сушка, дегазація при 360°С протягом 5–10 год у вакуумі 10^{-3} мм рт. ст. Зварюють нормальним полум'ям з витратою ацетилену 100 л/год на 1 мм товщини металу. Номер наконечника і діаметр дроту вибирають також залежно від товщини (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Діаметр дроту і номер наконечника залежно від товщини металу, мм

Товщина	Номер наконечника	Діаметр дроту	Товщина	Номер наконечника	Діаметр дроту
1,0–1,5	1	1,5–2,0	7–9	4	4–4,5
2–4	2	2–3	10–12	5	4,5–5,5
4–6	3	3–4	14–16	6	5–5,5

Для зварювання чистого алюмінію застосовують марки дроту Св-АВ00, СвАГ; сплавів АМг, АМц – марки АМг3, АМг5; ливарних сплавів – мар-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ки СвАК3, СвАК5. Як флюс найбільше використовується АФ-4а, до складу якого входять хлористі і фтористі солі калію, натрію і літію. Ці солі вступають у реакцію з плівкою Al_2O_3, розріджують її й переводять у легкоплавкий шлак.

Зварювання здійснюють лівим способом: метал товщиною до 4 мм зварюють за один прохід, товщий – за декілька проходів із загальним або місцевим підігріванням газовим пальником до 250–300°С. Після зварювання рештки флюсу видаляють, промиваючи шви і біляшовну зону теплою або підкисленою водою (2 %-ним розчином хромової кислоти). Перед заварюванням дефектів литва з силуміну потрібно підігрівати до 300°С, а після зварювання відпалювати.

4.5. ГАЗОПОЛУМЕНЕВІ ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ

Нагрівання і паяння. Газополуменеве нагрівання використовується при поверхневому гартуванні, вогневому виплавленні та очищенні різних металів.

При *поверхневому гартуванні* глибина загартованого шару становить 1,5–5 мм, що забезпечує підвищення зносостійкості й утомної міцності. Залежно від конфігурації, розмірів деталі і вимог до властивостей поверхневого шару використовують циклічний або безперервний спосіб.

Критерієм здатності матеріалів до цього виду термообробки є вміст вуглецю і легуючих елементів: для вуглецевих сталей – в межах 0,35–0,7 %, для сірого чавуну – 3,3 %, половинчастого – не менше 0,4 %, кремнію – не більше 2 %. Для легованого чавуну вміст нікелю – 1–2 %, хрому, молібдену і ванадію – не більше 0,75 % кожного. Параметри режиму поверхневого гартування наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Параметри режиму безперервно послідовного поверхневого полуменевого гартування

Вид термообробки	На 1 см ширини гартування			Відстань до струменя повітря, мм		Швидкість гартування, мм/хв
	питома потужність полум'я, л/год	питома витрата води, л/хв	питома витрата повітря, л/год	від полум'я	від води	
Гартування на мартенсит	500	0,4–0,8	–	–	–	70–150
Гартування на троостит і сорбіт*	500	0,4	1,5	12–15	10–20	70–150
* Глибина загартованого шару 2,4–4 мм, твердість 350–400 НВ.						

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

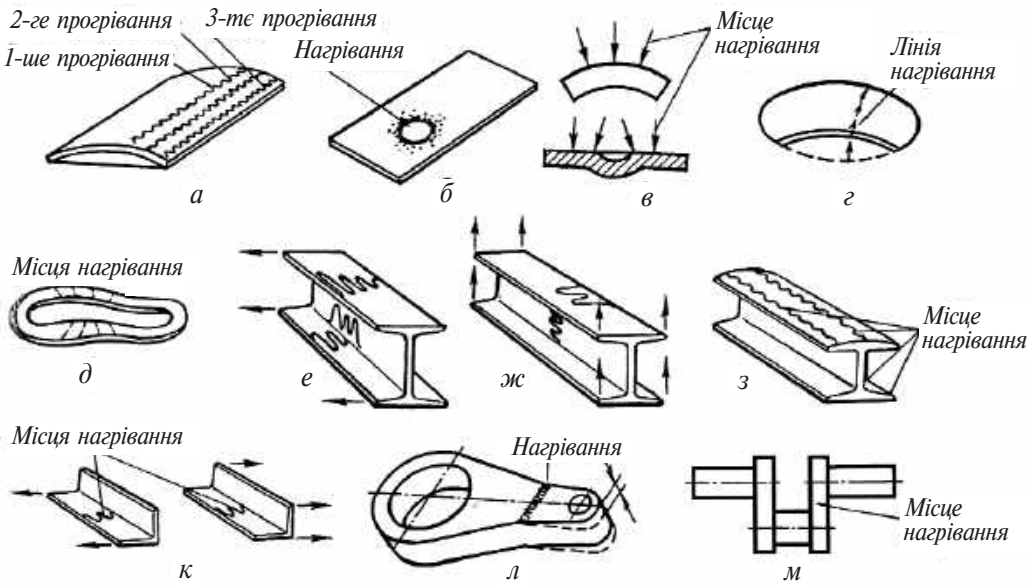
Гартування виконується тільки механізованим способом з використанням пальників типу ГЗ. Форма наконечників мундштуків має відповідати конфігурації загартовуваної поверхні деталі (ширина від 45 до 110 мм). Мундштуки комплектуються змінними пристроями для одержання загартованого шару різної глибини і твердості.

Газополуменеву обробку металу використовують для виправлення дефектів виробів з нього після зварювання за рахунок локального концентрованого нагрівання і швидкого охолодження, завдяки чому у виробі виникають зусилля, достатні для зменшення або виправлення місцевого дефекту.

Починають нагрівання з опуклого боку деформованої поверхні з використанням універсальних або спеціалізованих пальників.

Спочатку вибирають ділянку і визначають ширину зони нагрівання, яка складає від половини до двох товщин листа, а при виправленні валів – 0,2–0,5 діаметра вала, і нагрівають до температури 250–650°С залежно від величини прогину, але у всіх випадках температура не повинна перевищувати температуру початку структурних перетворень для металу.

На мал. 4.7 показано схеми нагрівання для виправлення дефектів різних деталей.



Мал. 4.7. **Приклади термічного виправлення дефектів деталей:**
а – листів із загальним прогином по всій довжині, деформованих при транспортуванні, газовому різанні, виготовленні конструкції; *б* – листів з місцевими деформаціями в середній частині (прогин, вм'ятини, опуклості) внаслідок механічних або термічних дій; *в* – листів з місцевими деформаціями кромок (вм'ятини, опуклості, хвилястості) від механічних чи термічних дій; *г* – листо-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вих плоских і круглих засувок з деформаціями від механічних чи термічних дій; *д* – фланців, вирізаних з листа, з деформаціями від термічного різання, штамповки або механічної обробки; *е* – двотаврових балок і швелерів, зігнутих у горизонтальній площині внаслідок механічних і температурних дій при зварюванні; *ж* – таких же деталей, зігнутих у вертикальній площині; *з* – зварних двотаврових балок з прогинами верхніх і нижніх горизонтальних листів, що виникли внаслідок зварювання; *к* – кутів різних розмірів з місцевими прогинами внаслідок механічного і термічного навантажень; *л* – деталей типу шатуна ексцентрикового преса, деформованих внаслідок зварювання; *м* – колінчастих валів, деформованих внаслідок наплавлення

Пальник типу ГВП-5 може працювати на пропан-бутановій суміші (тиск не менше 0,001 МПа, витрата газу 30–600 л/год) або на метані (тиск не менше 0,001 МПа, витрата 75–1200 л/год). Повітря до пальника подається під тиском не більше 0,5 МПа (витрата 850–6000 л/год) примусово від компресора або магістралі. Наконечники мундштуків № 1, 2, 3 забезпечують циліндричну стабілізацію горіння полум'я, температура якого досягає 1600°С. Використовується для ручного паяння сталевих деталей з товщиною стінки до 2 мм припоями з температурою плавлення до 600°С і деталей завтовшки до 20 мм припоями з температурою плавлення до 400°С, а також для механізованого очищення деталей від іржі, окалини, старої фарби, сушіння ливарних форм тощо.

Пальник типу ГВ-1 працює на пропан-бутановій суміші (тиск не менше 0,1–0,15 МПа, витрата газу 670–1700 л/год). Подача повітря здійснюється з атмосфери за рахунок підсмоктування.

Корпус пальника одновентильний, наконечники № 1, 2, 3 забезпечують циліндричну стабілізацію горіння полум'я, внаслідок чого можна нагрівати металеві і неметалеві матеріали до 300°С. Призначений для нагрівання трубопроводів, тюбінгів та інших деталей при їх покритті бітумом, для приклеювання руберойду до бетонних поверхонь, для нанесення гідроізоляції тощо.

При газополуменевому очищенні внаслідок швидкого нагрівання поверхневого шару металу окалина відшаровується, іржа зневоднюється, а фарба згорає без значного нагрівання основного металу. Застосовують пальники типу ГАО з використанням жорсткого окислювального полум'я, кут нахилу пальника до поверхні 40–60°, швидкість переміщення 0,5–1 м/хв, яке треба виконувати на себе.

Мундштук пальника слід розміщувати під кутом 30° у напрямі руху для перекриття кожного попереднього шару наступним на 15–20 мм. Продуктивність праці становить 20 $м^2$/год при питомій витраті ацетилену від 0,1 до 0,4 $м^3$ на 1 $м^2$ очищуваної площі.

При газополуменевому високотемпературному паянні згідно з ДСТУ ISO 4063:2009 (912) застосовують припої з температурою паяння вище

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

550°С, а при низькотемпературному з температурою паяння нижче 550°С.

Для низькотемпературного паяння і лудіння сталей, у тому числі і жерсті, використовують припої ПОСС-4-6 з флюсом (суміш хлористого цинку – 25–30 %, хлористого амонію – 5–20 % і води 50–70 %); або насичений розчин хлористого цинку в соляній кислоті (хлористий цинк – 85 %, хлористий амоній – 10 %, хлористий натрій – 5 %). При паянні переважно використовують з'єднання внапустку. Міцність паяних швів залежить від площі спаю і величини зазору між деталями, який має бути мінімальним. Так, при застосуванні сріблястого припою зазор становить 0,03–0,12 мм, мідно-цинкового – 0,12 мм, олов'яно-свинцевого – 0,05–0,12 мм.

Високотемпературне паяння сталей здійснюється також з використанням припоїв. Якщо деталі підлягають подальшому нагріванню до 810°С, до чистоти місця спаю висуваються підвищені вимоги і потрібно забезпечити високі пластичні властивості, то застосовують срібні припої марок ПСр-10, ПСр-25, ПСр-65.

Паяння деталей із вуглецевих сталей і чавуну здійснюється за допомогою мідно-цинкових припоїв марок Л163, Л68, МЦН-48-10.

Для високотемпературного паяння використовують спеціальні флюси. У разі паяння вуглецевої сталі і чавуну це бура (припої мідно-цинкові і срібні). Надтверді сплави і високовуглецеві сталі потребують флюсової суміші калію фтористоводневого (45–55 %) і борної кислоти (55–45 %). Нержавіюча сталь паяється із застосуванням суміші плавленої бури (50 %) і борної кислоти (50 %).

Високотемпературне паяння виконується полум'ям нормального складу за допомогою пальників вищезгаданих типів. Питома потужність полум'я (за ацетиленом) на 1 мм нержавіючої сталі не більша 70 л/год. Деталі нагрівають факелом полум'я. При паянні різнорідних або різнотовщинних металів його спрямовують на деталь з більшою товщиною або теплопровідністю. Діаметр або товщину припою вибирають, враховуючи, що його товщина має в 1–3 рази перевищувати товщину тоншої із з'єднуваних деталей.

Наплавлення і напилення покриттів. За своєю природою процеси наплавлення і напилення подібні до паяння, де з'єднання здійснюється на межі рідкого і твердого металу. Ці процеси вимагають хорошого змочування поверхні основи, що досягається підбором відповідного складу присадного металу і флюсів, а також ретельною підготовкою поверхонь.

Для робіт в умовах тертя при високих температурах використовуються стеліти – литі тверді сплави вольфраму і хрому (зв'язка кобальт і

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

залізо) у вигляді прутків. Вони забезпечують твердість наплавленого шару 42–48 HRC.

Для роботи в умовах абразивного зношування при нормальних і підвищених температурах використовуються сормайт 2, сормайт 27 – чавуни, леговані хромом, нікелем і кремнієм, у вигляді литих прутків. Забезпечується твердість наплавленого шару 40–54 HRC. Інструмент, абразивне зношування якого дуже інтенсивне (буровий інструмент для нафтових і газових свердловин), наплавляють релітом Т3 у вигляді трубчастого стрижня з низьковуглецевої сталі діаметром 6 мм і товщиною стінки 0,5 мм, заповненого карбідом вольфраму. Твердість наплавленого шару 85 HRC.

Металорізальний інструмент оснащують побідитом – металокерамікою з карбіду вольфраму і титану (зв'язка кобальт і залізо) у вигляді пластин. Забезпечує твердість на рівні 86–91 HRC.

Продуктивність напилювання суттєво залежить від пальника. Наприклад, пальник середньої потужності типу ГН-2 при тиску ацетилену не менше 0,01 МПа і його витраті 350–600 л/год дає змогу вручну напилити до 2 кг/год хромоборнікелевого порошку на деталі середніх розмірів. Пальником типу Євроджет XS-8 на деталі будь-якої конфігурації при витраті ацетилену 860 л/год напилюють вручну або механізованим способом 2–4 кг/год порошку марки ПГН-10Н-01.

Технічні характеристики апаратів для напилення дротом наведено у табл. 4.8.

Як флюс при наплавленні стеліту використовують буру або суміш бури (20 %), борної кислоти (68 %) і плавикового шпату (2 %), а при наплавленні сормайту суміш бури (50 %), двовуглецевої соди (47 %) і кремнезему (3 %). Потужність полум'я становить 100–120 л/год на 1 мм товщини металу. Полум'я має невеликий надлишок ацетилену.

Максимальна глибина проплавлення не повинна перевищувати 0,3–0,5 мм, товщину шару регулюють кутом нахилу деталі до горизонту. Пальник (вісь мундштука) треба розміщувати під кутом 30–35°. Наплавлення можна виконувати як лівим, так і правим способом неперервним або зворотно-ступеневим валиком.

Попереднє підігрівання проводиться до температури 500–700°С, іноді використовують і супровідне підігрівання. Дрібні і середньогабаритні деталі достатньо підігрівати до 300–500°С. Наплавлення виконують в один шар 2–3 мм, якщо деталь працює при ударному навантаженні, і в декілька шарів загальною товщиною 4–8 мм за умови роботи деталі на тертя.

При газопорошковому наплавленні (табл. 4.9) матеріал подається у вигляді порошкового сплаву крізь газокисневе полум'я в місце наплавлення, для чого використовуються спеціальні пальники.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 4.8

Технічні характеристики апаратів для напилення дротом

Марка	Напилюваний дріт		Витрата газів, м³/год			Тиск газів, МПа				Продуктивність, кг/год	Габарити, мм	Маса, кг	
	діаметр, мм	швидкість подачі, м/год	стиснуте повітря	ацетилен	пропан-бутан	стиснуте повітря	ацетилен	пропан-бутан	кисень			установки	пальника
УГМ-1	2–4	–	6–10	1,3	–	0,4–0,5	0,06–0,1	–	0,2–0,4	23/4,8	–	25	2,2
МГИ-4А	2–4	58–720	60	1,2	–	0,4–0,5	0,06–0,1	–	0,2–0,5	23	220×110×208	–	2,2
МГИ-4П	2–4	58–720	60	–	0,9	0,4–0,5	–	0,06–0,1	0,2–0,5	23	220×110×208	–	2,2
МГИ-5	5–6	–	150	–	3	0,5	–	0,2	0,5	50/14	550×310×275	–	–

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 4.9

Технічні характеристики апаратів для напилення порошкових матеріалів

Марка	Продуктивність напилення, кг/год		Коефіцієнт витрат матеріалу	Витрата газів, м³/год				Тиск газів, МПа				Місткість живильника, дм³	Масса, кг	
	полімером ПНФ-12	порошком ПГ-10Н-01		стиснуте повітря	ацетилен	пропан-бутан	кисень	стиснуте повітря	ацетилен	пропан-бутан	кисень		установки	пальника
УГПЛ-П	11	–	0,85	25	–	1,2	–	0,3–0,6	–	0,5–1,5	0,3–1,0	10	14,5	1,3
УГПТ-П	–	5	0,9	6	–	1,2	–	0,2–0,6	–	1	–	2	21	1,0
УГПУ	–	6–18	0,9	–	1,2–2,1	1,2	2,2–6	–	0,11	1,1	0,1–0,6	–	30	1,0
УПТР-86	–	10,5	0,96	6–10	0,7–1,2	0,6–1,2	1–2,5	0,3–0,6	0,07–0,11	0,7–3,0	0,1–0,4	0,6	17	1,6
Могул-9	–	2,5	0,9	–	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Часточки порошків мають сферичну форму розміром 40–100 мкм, самофлюсовані, і тому не потребують використання флюсів.

Наплавлення здійснюється з попереднім підігріванням деталі до температури 300–400°С. На поверхню деталі напилюють тонкий шар (0,2 мм) і полум'ям нагрівають ділянку до температури плавлення основного металу. Потім пальник відводять на відстань 1,5–2 довжини ядра полум'я і, плавно подаючи порошок в нього, наплавляють шар металу завтовшки до 1 мм. Якщо треба наплавити шар більшої товщини, полум'ям пальника переплавляють нанесений шар і наплавляють новий. Спосіб забезпечує одержання тонкошарового наплавлення у важкодоступних місцях і в будь-якому просторовому положенні.

Газотермічне напилення використовують для захисту металоконструкцій від корозії, підвищення зносостійких, антифрикційних і жаростійких властивостей поверхонь, відновлювання розмірів та декоративного оздоблення деталей.

Нагрівання розпилюваного матеріалу здійснюється ацетиленокисневим полум'ям, а розпилення часточок – динамічним напором газового полум'я, оскільки часточки інжектуються в нього струменем кисню і підсмоктуваного з атмосфери повітря.

У деяких випадках розпилення часточок порошку здійснюється стиснутим повітрям.

Для газополуменевого напилення покриття використовуються апаратура і установки порошкового і дротового типів. Перші призначаються для напилення порошковими матеріалами (табл. 4.9), другі – для нанесення покриттів з алюмінію, цинку, сталі та інших металів (табл. 4.8).

Для ручного напилення використовують апарати МГИ.

Для його живлення горючим газом використовують балони.

Поряд з підбором оптимальних параметрів режиму напилення дуже важливою є операція підготовки поверхні деталі, яка виконується дробоструминним обробленням або нанесенням рельєфу типу рваної різі. Недолік способу – підвищений шум у зоні роботи до 85 дБ, що змушує оператора працювати в навушниках.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які зони має ацетиленокисневе полум'я?
2. Які види ацетиленокисневого полум'я застосовують? Для яких операцій їх використовують?
3. Назвіть параметри режиму ацетиленокисневого зварювання. Від чого вони залежать?
4. Яка техніка зварювання застосовується при виконанні робіт у всіх просторових положеннях?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

5. Назвіть галузі використання газового зварювання.
6. Які спеціальні види газополуменевої обробки існують, за яких умов вони застосовуються?
7. Які запобіжні пристрої використовують при ацетиленокисневому зварюванні і термічному різанні?
8. У яких балонах зберігаються гази і кисень, що застосовуються для зварювання і термічного різання?
9. Яка будова зварювального пальника, як запобігти засмічуванню його отворів?
10. Як вибираються зварювальні матеріали для сталей?
11. Які зварювальні матеріали використовуються для зварювання міді й алюмінію?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 5

ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

5.1. БУДОВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

Зварювальною дугою називається потужний тривалий електричний розряд, що протікає в середовищі газів і парів металу між двома електродами під напругою. Характеризується низькою напругою, великим струмом і високою температурою. Вперше явище електричної дуги було відкрите росіянином В. Петровим і італійцем А. Вольта в 1802 р. Уже тоді В. Петров відмітив такі властивості дуги, як яскраве світло і високу температуру і передбачив можливі галузі її використання: освітлювання і плавлення металів. Так і сталося. Дуговий розряд використовують у потужних прожекторах і при зварюванні. Вперше на практиці зварювання застосував М. Бенардос у 1881 р.

Оскільки дуга горить у повітрі, яке за нормальних умов є ізолятором, для її існування дуговий повітряний проміжок потрібно наситити часточками, здатними переносити електричний заряд, – електронами та іонами. Схема дугового розряду показана на мал. 5.1.

Якщо джерело живлення постійного струму підключити до виробу 1 і електрода 7, запалити дугу, то вона горітиме між катодом 6 і анодом 2, а між ними з'явиться видима частина дуги – її стовп 4.

Електрод 7 є провідником електричного струму завдяки деякій кількості вільних електронів, які скупчуються на катоді і можуть рухатись у напрямку анода, але цьому перешкоджає опір повітряного прошарку між катодом і анодом.

Для подолання опору потрібно витратити деяку енергію, яку називають «роботою виходу електрона». Вона залежить від природи матеріалу, ступеня чистоти катода (наявність оксидів зменшує роботу виходу), температури поверхні катода (підвищення температури зменшує роботу виходу). Всі ці фактори впливають на процес емісії електронів у дуговий проміжок, причому енергія електронів залежить від декількох видів емісії:

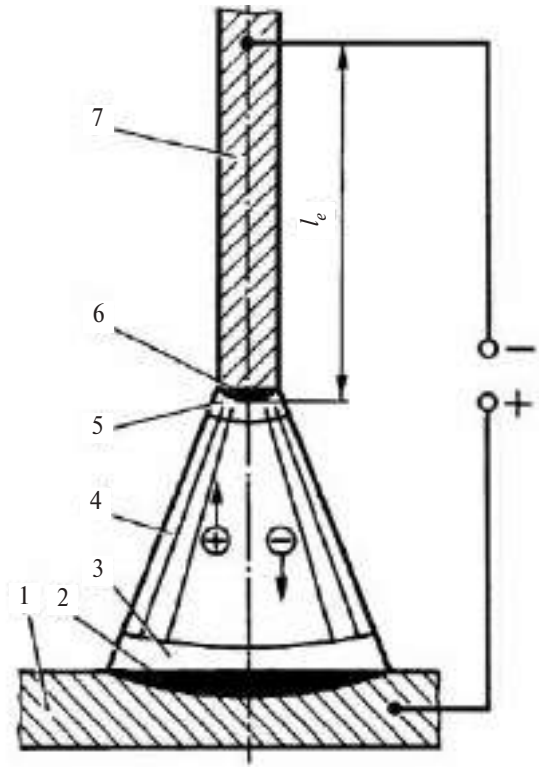
• *термоелектронної* – проявляється головним чином у неплавких електродів – графітового і вольфрамового, які нагріваються до високих температур (~3400°С);

• *автоелектронної* – виникає під дією зовнішнього магнітного поля, що утворене джерелом живлення і полегшує процес виходу електронів;

• *спричиненої співударами позитивних іонів з поверхнею катода*, внаслідок чого він додатково розігрівається;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

• *фотоелектронної* – проходить під дією квантів світлового випромінювання ультрафіолетових, гамма- і рентгенівських променів.



Мал. 5.1. **Схема зварювальної дуги постійного струму**
1 – основний метал; 2 – анод; 3 – анодна зона; 4 – стовп дуги; 5 – катодна зона; 6 – катод; 7 – електрод

Таким чином катод випускає (емітує) вільні електрони, які спрямовуються до позитивного електрода – анода. У катодній зоні 5 вони розганяються і набувають великої кінетичної енергії. Непружно стикаючись у стовпі дуги з атомами газів і пари, електрони викликають їх іонізацію з утворенням іонів і нових електронів. Так виникає *первинна іонізація* – процес перетворювання нейтральних атомів і молекул в іони в разі втрати або приєднання електрона на зовнішній орбіті. Такий процес потребує енергії, величина якої залежить від природи матеріалу. Утворені позитивні іони спрямовуються до катода. Електронно-іонний струм, що проходить крізь дугу, нагріває газ. Висока температура стовпа дуги сприяє термічний іонізації газу. Газ стовпа дуги сліпучо яскраво світиться, спричинюючи фотоіонізацію, внаслідок чого його температура досягає 6000–8000°С.

Стовп дуги 4 являє собою низькотемпературну плазму – суміш заряджених (електронів та іонів) і нейтральних частинок, які захоплюються

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

першими і рухаються у певному напрямку, причому весь час ідуть процеси як іонізації, так і рекомбінації – перетворення іонів у нейтральні атоми і молекули.

Можна зробити висновок, що емісія електронів первинна, а іонізація – вторинна, а запорукою надійного стабільного горіння дуги є наявність постійної за розміром, температурою та емісійною здатністю катодної активної ділянки. Її називають плямою.

Електрони, які пройшли стовп дуги, гальмуються в анодній зоні 3 (мал. 5.1), утворюючи надлишковий негативний заряд, і осідають на аноді, віддаючи йому свою енергію, що супроводжується виділенням великої кількості теплоти, достатньої для плавлення практично всіх металів і сплавів.

Іони, у свою чергу, надходять у катодну зону 5 (мал. 5.1), утворюючи там надлишковий позитивний заряд, і нейтралізуються, віддаючи свою енергію катодові й тим самим нагріваючи його до температур, які перевищують температури плавлення.

Наведемо для деяких матеріалів значення роботи виходу φ_e, еВ: К – 2,02; Na – 2,12; Ca – 3,34; Fe – 4,47; Cu – 4,4. Потенціал іонізації цих матеріалів U_i, еВ: К – 4,32; Na – 5,11; Ca – 6,1; Fe – 7,83; Cu – 7,7.

Як видно з наведених даних, найменші значення роботи виходу і потенціалу іонізації мають елементи лужно-земельної групи елементів: калій, натрій і кальцій.

Встановлено, що введення цих елементів у дуговий проміжок значно знижує ефективний потенціал іонізації – узагальнений показник, що відображає реальний парогазовий стан дугового розряду (мал. 5.2). Тому у склад покриттів і флюсів завжди вводять лужно-земельні елементи у вигляді солей вуглецевої кислоти $К_2CO_3$, Na_2CO_3, $CaCO_3$ для покращення стабільності горіння дуги. Перше покриття, яке наносили на поверхню сталевого стрижня, було крейдове – розчин крейди $CaCO_3$ у рідкому склі.

Фтор має підвищене значення потенціалу іонізації $U_i = 16{,}9$ еВ, тому в складі покриттів і флюсів (сполука CaF_2) є деіонізатором і значно погіршує стабільність горіння дуги.

Головною характеристикою зварювальної дуги як джерела енергії для зварювання є ефективна теплова потужність:

$$Q_{еф} = IU\eta,$$

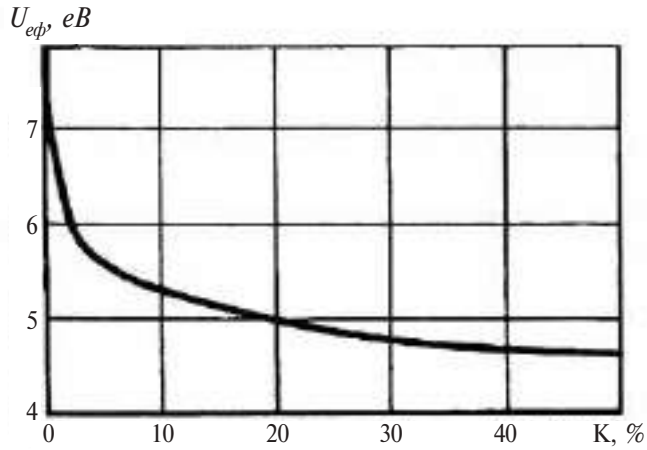
де I – зварювальний струм, А (змінюється в межах 50–1500 А); U – напруга на дузі, В (15–45 В); η – коефіцієнт корисної дії (0,5–0,95).

Більша величина потужності (80–85 %) виділяється в катодній і анодній активних плямах, тобто в місцях плавлення основного й електродного металу, а решта – у стовпі дуги. Крім того, під дією електричного струму, що проходить у металевому стрижні електрода, виділяється джоулева теплота на вильоті електрода l_e згідно з формулою:

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

$$Q_{дж} = I^2R = I^2\rho 4l_e/\pi d_e^2,$$

де I – зварювальний струм, А; R – опір електрода, Ом; ρ – питомий електричний опір, Ом · м; l_e – виліт електрода, см; d_e – діаметр електрода, см.



Мал. 5.2. **Вплив вмісту калію в суміші його пари з залізом на ефективний потенціал іонізації**

Таке підігрівання електрода сприяє підвищенню швидкості плавлення і збільшенню продуктивності процесу, але надмірне нагрівання веде до руйнування покриття електрода, яке втрачає свою механічну міцність при температурі вище 700°С. Тому із зменшенням діаметра електрода і підвищенням величини ρ довжину електрода зменшують. Найбільша довжина стандартних електродів становить 450 мм.

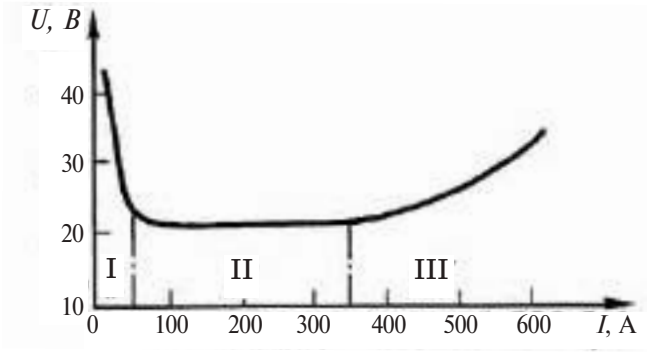
Зварювальну дугу можна розглядати як такий же інструмент для металообробки, як різець, фреза, свердло. Тому вона має не переривати-ся при зміні довжини дуги, бути стабільною у всіх просторових положеннях, у цехових і монтажних умовах, на повітрі і під водою. Все це забезпечується завдяки оптимальному співвідношенню між напругою дуги, зварювальним струмом і спеціальними властивостями джерел її живлення.

Напруга дуги, тобто напруга між катодом і анодом, залежить від довжини дуги та сили струму, а також від матеріалу і розмірів електродів, складу і тиску плазми стовпа дуги. У процесі вибору джерела живлення вирішальне значення має характер залежності між напругою і струмом дуги, яку називають *статичною вольт-амперною характеристикою*, або *статичною характеристикою дуги* (мал. 5.3).

Як бачимо, названа характеристика складається з трьох ділянок: спадної (I), жорсткої (II) і зростаючої (III). Залежно від умов існування зварювальної дуги їй відповідає певна ділянка статичної характеристи-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ки. Так, при ручному зварюванні статична характеристика дуги падаюча з переходом до жорсткої. При механізованому зварюванні під флюсом та у вуглекислому газі статична характеристика дуги – жорстка з переходом до зростаючої.



Мал. 5.3. **Статична характеристика дуги**

Джерело живлення зварювальної дуги має задовольняти певні вимоги: забезпечувати надійне збудження дуги, підтримувати її стійке горіння, високу еластичність і стабільний потрібний режим зварювання, сприяти переносу електродного металу і формуванню зварного шва.

Електричні властивості джерела під час роботи в статичному режимі виражаються його зовнішньою характеристикою – залежністю між напругою на його затискачах (клемах) і струмом у зварювальному колі при навантаженні. Зовнішня вольт-амперна характеристика (мал. 5.4) може бути зростаючою (1), жорсткою (2), похилоспадною (3) та крутоспадною (4). Важливими параметрами джерела живлення є його напруга неробочого ходу U_0, струм короткого замикання I_k номінальні напруги $U_н$ і струм $I_н$ (мал. 5.5).

Запалювання дуги відбувається тим легше, чим вища напруга неробочого ходу джерела. Для надійного запалювання дуги напруга неробочого ходу має перевищувати 40–50 В. За умовами безпеки напруга неробочого ходу джерела змінного струму не повинна перевищувати 80 В, джерел постійного струму – 90 В.

Стійке горіння дуги забезпечується правильним вибором зовнішньої характеристики джерела живлення (мал. 5.5). Наприклад, при спадній статичній характеристиці дуги 2 джерело живлення повинно мати ще більш крутоспадну зовнішню характеристику 1 у робочій точці, де горить дуга. Як видно з рисунка, рівність струмів і напруг дуги та джерела у цьому випадку має місце в точках *A* і *B*. З них лише точка *A* відповідає стійкому горінню дуги. Якщо з будь-якої причини струм зменшиться, то напруга джерела перевищить напругу дуги і цей надлишок напруги призведе до збільшення струму, тобто до повернення в точку *A*. Якщо ж струм збільшиться, то напруга джерела стане меншою за напругу дуги,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тому струм зменшиться і режим горіння відновиться. Таким чином підтримується постійний режим зварювання та стійке горіння дуги.

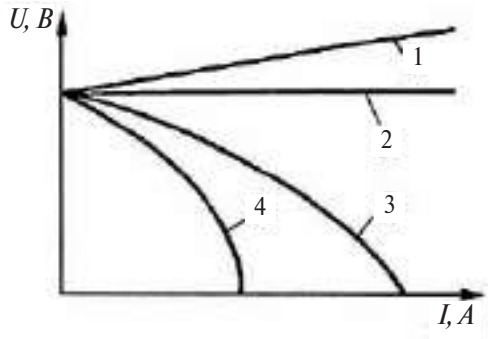


Рис. 5.4. **Зовнішні характеристики джерел живлення:**
1 – зростаюча; 2 – жорстка; 3 – похилоспадна; 4 – крутоспадна

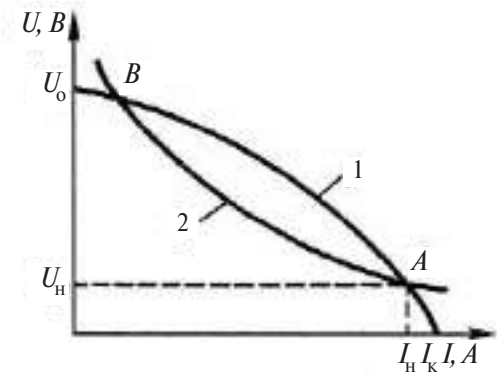


Рис. 5.5. **Характеристика джерела живлення та дуги**

У точці *B* дуга стійко горіти не буде, оскільки будь-яка випадкова зміна струму призводить або до обриву дуги, або до зміни струму до значень, що відповідають точці стійкого горіння дуги *A*, тобто стійке горіння дуги підтримується лише в тій точці, де зовнішня характеристика джерела живлення більш крутоспадна, ніж статична характеристика дуги. Чим крутіший нахил зовнішньої характеристики, тим вища еластичність зварювальної дуги.

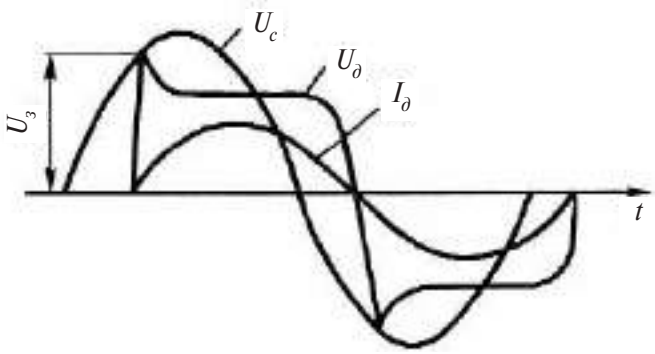
За жорсткої статичної характеристики дуги зовнішня характеристика джерела живлення може бути і круто-, і похилоспадною. При зростаючій статичній характеристиці дуги застосовують джерела з жорсткими і похилоспадними зовнішніми характеристиками.

До джерел змінного струму висувають спеціальні вимоги, пов'язані зі зниженою стійкістю дуги змінного струму. При частоті 50 Гц напруга джерела 100 разів протягом секунди зменшується до нуля і дуга згасає. Після кожного такого згасання дуга має збудитися при підвищеній напрузі, яку називають *напругою повторного збудження* (мал. 5.6). Вона має бути меншою за напругу неробочого ходу. Напруга дуги $U_д$ залишається постійною до кінця півперіоду. Зварювальний струм I змінюється за синусоїдою. Якщо напруга джерела недостатня, повторне запалювання дуги може не відбутися. Для надійного повторного запалювання дуги змінного струму слід збільшувати зварювальний струм і напругу неробочого ходу джерела, а також використовувати джерела з достатньою індуктивністю.

Велику роль відіграє джерело в формуванні якісного зварного шва та зменшенні розбризкування розплавленого металу. Для зменшення роз-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

бризкування у зварювальне коло послідовно з дугою вмикають дросель із більшою індуктивністю або використовують джерела з крутоспадною зовнішньою характеристикою. При цьому знижується струм короткого замикання, що виникає при дотику до ванни краплі електродного металу, і крапля переходить до ванни спокійно, без вибухів та ударів.



Мал. 5.6. **Осцилограми зварювальної дуги змінного струму**

Сила зварювального струму звичайно регулюється за допомогою джерела. Усі можливі способи регулювання струму можна звести до двох – зміни напруги неробочого (холостого) ходу U_0 і зміни опору Z джерела. Якщо збільшити напругу неробочого ходу джерела (мал. 5.7, *а*), то його характеристика зміститься праворуч і перетнеться з характеристикою дуги при більших струмах.

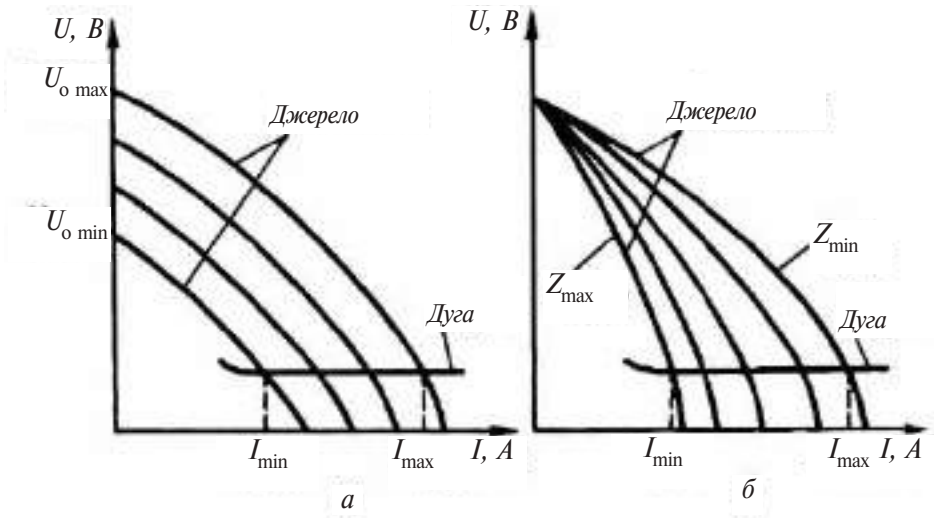
Якщо збільшити опір джерела, що відповідає зміщенню його характеристики ліворуч (мал. 5.7, *б*), то енергія, яку джерело віддає дузі, зменшиться і струм спаде. При механізованому зварюванні за допомогою джерела регулюють напругу дуги, сила струму в цьому випадку задається в автоматі зміною швидкості подачі електродного дроту.

Розглянемо, яким чином перелічені вимоги задовольняються у джерелах, призначених для різних способів зварювання.

При ручному зварюванні покритими електродами використовують джерела живлення постійного та змінного струму з крутоспадними зовнішніми характеристиками (мал. 5.5). Завдяки підвищеній напрузі неробочого ходу забезпечується надійне первинне й повторне запалювання дуги. У разі поєднання крутоспадної характеристики джерела зі спадною або жорсткою характеристикою дуги виконується й умова загальної стійкості дуги. Оскільки на робочій ділянці (біля точки А) характеристика джерела близька до крутоспадної, то при збільшенні довжини дуги та її напруги зварювальний струм зменшується несуттєво. Таке джерело забезпечує високу стійкість горіння дуги при коливаннях її довжини, тобто еластичність дуги. З цієї ж причини гарантується стабільність режиму зварювання – на постійному рівні підтримується сила струму, а тому

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

й глибина проплавлення. За крутоспадної зовнішньої характеристики струм короткого замикання порівняно невеликий, тому розбризкування електродного металу при крапельному переносі незначне.



Мал. 5.7. **Регулювання зварювального струму за допомогою джерела живлення**

У джерелі для ручного зварювання є регулятор струму.

При автоматичному зварюванні під флюсом використовують джерела постійного та змінного струму з похилоспадними (3) зовнішніми характеристиками (мал. 5.4). Найбільш поширені автоматичні системи з постійною швидкістю подачі дроту, які працюють за принципом саморегулювання.

Властивість саморегулювання полягає в тому, що при постійній швидкості подачі дроту в дузі встановлюються такі струм та напруга, за яких швидкість плавлення дроту дорівнює швидкості його подачі. У разі раптового подовження дуги зварювальний струм зменшується, зменшується й швидкість плавлення дроту. Внаслідок цього відхилення довжина дуги (подовження) почне зменшуватися, а струм збільшуватися доти, поки не відновляться первинна довжина дуги і режим зварювання. Аналогічні процеси відбуваються й при скороченні дуги. Швидкість відновлення зварювального режиму тим більша, чим більша зміна струму при зміні довжини дуги. При зміні довжини дуги відхилення струму тим більше, чим менший нахил зовнішньої характеристики. Тому джерело для зварювання під флюсом має похилоспадну характеристику. Так само, як і при ручному зварюванні, це забезпечує надійне первинне та повторне збудження та стійке горіння дуги. Джерело має регулятор напруги дуги. Сила струму залежить від швидкості подачі дроту і тому настроюється механізмом подачі дроту.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При механізованому зварюванні у вуглекислому газі використовують джерела постійного струму з похилоспадною характеристикою. Така характеристика збільшує швидкодію процесу саморегуляції. Постійний струм зворотної полярності покращує умови збудження та стійкого горіння дуги. Для зменшення розбризкування електродного металу послідовно з джерелом з'єднують дросель зі значною індуктивністю, яка обмежує пікове значення та швидкість зростання струму короткого замикання. Напруга дуги регулюється джерелом, а сила зварювального струму – напівавтоматом.

5.2. ПЕРЕНОС ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ І ФОРМУВАННЯ ЗВАРНОГО ШВА

Характер плавлення і переносу електродного металу має великий вплив на взаємодію металу зі шлаком і газами, стабільність горіння дуги, формування шва, продуктивність процесу, розбризкування та інші технологічні фактори.

При плавленні на торці електрода утворюється крапля рідкого металу, на яку діє кілька сил. Одні з них намагаються скинути краплю з торця електрода, а інші, навпаки, утримують її там. Величини окремих сил і напрямок їх рівнодіючої залежить від параметрів режиму зварювання, складу електродного металу і газового середовища, стану поверхні дроту, просторового положення. На мал. 5.8 показано ці сили. Ті з них, які утримують краплю на торці електрода, позначені стрілкою уверх, а ті, що сприяють її переносу у зварювальну ванну, позначені стрілкою вниз (для нижнього положення).

Сила ваги P_G суттєво впливає на перенос електродного металу лише при зварюванні на малих струмах. У даному випадку вона сприяє попаданню краплі у зварювальну ванну, а в стельовому положенні, в кращому разі утримується на торці електрода, а в гіршому – падатиме вниз на зварника.

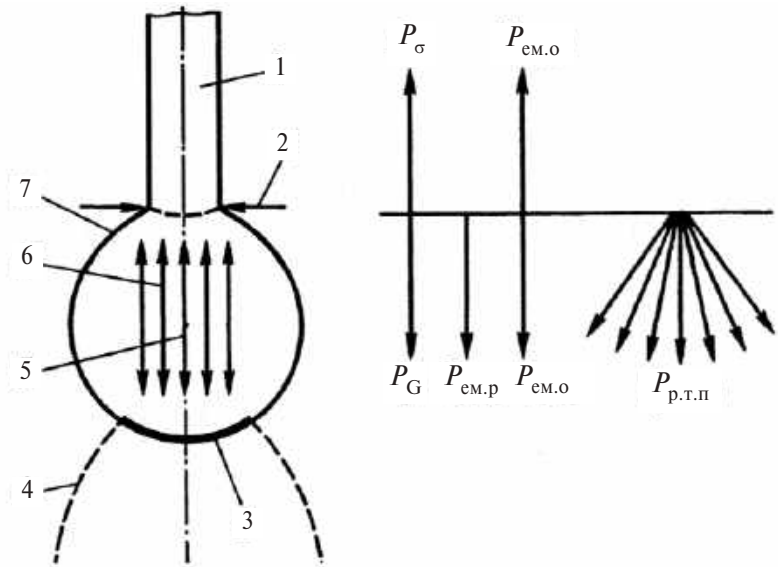
Сила поверхневого натягання P_σ утримує краплю, її дієспроможність залежить від природи металу, наявності поверхнево-активних елементів у його складі (кисень і сірка зменшують її), об'єму краплі і температури (зі збільшенням об'єму і температури P_σ зменшується). *Електромагнітні сили обумовлені взаємодією провідника, по якому тече струм, і магнітного поля, що утворюється цим струмом.*

Електромагнітна радіальна сила $P_{ем.р}$ намагається деформувати провідник у радіальному напрямку; найбільш суттєво її дія проявляється на межі «твердий метал електрода – рідкий метал краплі», що сприяє відриву останньої від торця електрода. Ця сила носить назву сили пінчефекту, її величина пропорційна квадрату сили струму.

Електромагнітна осьова сила $P_{ем.о}$ зумовлена змінами перерізу провідника по його довжині (електрод—крапля—активна пляма—стовп

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дуги). Якщо розміри активної плями менші, ніж діаметр електрода (шийка), то лінії струму спрямовані уверх і осьова сила буде перешкоджати переносу (що характерне для електродів з основним покриттям), і навпаки, коли лінії струму спрямовані вниз (що характерне для електродів з кислим покриттям).



Мал. 5.8. **Сили, що діють на краплю в дуговому проміжку, і напрямок їх дії при зварюванні в нижньому просторовому положенні:**
1 – електрод; 2 – радіальна складова електромагнітної сили; 3 – активна пляма; 4 – стовп дуги; 5 – осьова складова електромагнітної сили; 6 – лінії струму; 7 – крапля

Напрямок дії цих сил не залежить від просторового положення, тому вони відіграють важливу роль у переносі металу при стельовому зварюванні.

Сила реактивного тиску пари $P_{р.т.п.}$ обумовлена випарюванням металу з поверхні краплі і хімічною взаємодією рідкого металу зі шлаком або газовою фазою. Її величина залежить від розмірів активних плям, щільності струму в них, теплофізичних властивостей металу.

Є думка, що рівнодіюча реактивних сил прикладена в центрі активної плями. Це зумовлює значну рухомість крапель. Тому ця сила діє у різних напрямках і значною мірою впливає на розбризкування електродного металу. Правда, нею можна керувати, якщо створити тугоплавке покриття, коли на торці електрода буде утворюватися чохольчик, що сприятиме кумулятивному направленому парогазовому потоку, проникненню дуги вглиб основного металу і збільшенню величини провару. З іншого боку, коли покриття розплавляється одночасно зі стрижнем, ця сила сприяє рівномірному розподілу теплової потужності дуги, що

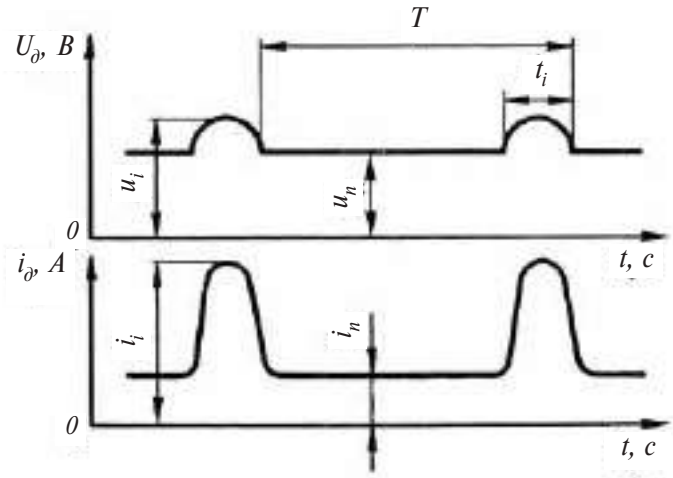
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

потрібно для перекриття великих зазорів при зварюванні погано підігнаних кромок деталей (електроди з органічним покриттям).

Залежно від співвідношення сил, що діють на краплю, існує кілька видів переносу: тип переносу у повному позначенні процесу визначається згідно з ДСТУ ISO 4063 таким чином: *D* – перенос з короткими замкненнями (плавлення електродів з основним покриттям), *G* – перенос крапельний (плавлення електродів з кислим покриттям і зварювання під флюсом), *S* – перенос струменний (плавлення електродів у середовищі аргону або в суміші Ar + CO_2), *P* – перенос імпульсний. Наприклад, дугове зварювання суцільним дротом в інертному газі з переносом струминним металу позначається: ДСТУ ISO 4063-131S. Струминний перенос досягається або завдяки підвищеній щільності струму, або під впливом кислого середовища, яке сприяє зменшенню сили поверхневого натягнення. Цей вид переносу значно зменшує або ліквідує повністю розбризкування електродного металу, що дуже важливо для чистоти біляшовної зони.

На жаль, одержати струминний перенос металу при зварюванні в середовищі CO_2 неможливо, оскільки на дисоціацію цього газу витрачається багато енергії зі зварювальної дуги.

Переносом електродного металу при зварюванні в середовищі аргону можна керувати завдяки імпульсно-дуговій дії на краплю. Суть керування полягає в тому, що на дугу постійного струму ($U_п$, $I_п$) накладаються через період *T* потужні короткочасні імпульси струму (U_i, I_i) тривалістю t_i, які забезпечують формування краплі на торці електрода і перенос її у зварювальну ванну (мал. 5.9).



Мал. 5.9. **Зміни струму і напруги дуги при імпульсно-дуговому зварюванні**

У проміжках між імпульсами електрод розплавляється при невеликій силі струму. При накладанні імпульсу струму збільшеної величи-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

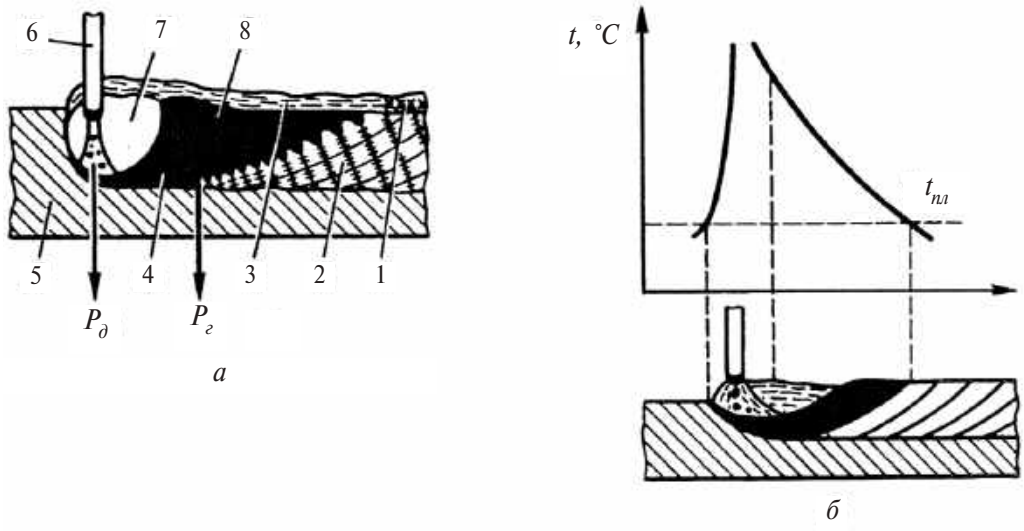
ни різко зростають електромагнітні сили. Радіальна сприяє миттєвому утворенню шийки, а осьова – інтенсивному руху краплі вздовж осі електрода в напрямку зварювальної ванни з наступним відривом її і переходом у ванну.

Такий примусовий перенос можливий при зварюванні в усіх просторових положеннях, що дуже важливо для використання механізованих способів.

Під дією тепла зварювальної дуги краплі розплавленого електродного металу направляються до основного, розплавленого металу, змішуються з ним, утворюючи рідинну зварювальну ванну, яка весь час рухається і перемішується (мал. 5.10).

Якщо зварювання виконується покритим електродом або під флюсом, поверхню ванни покриває шар рідкого шлаку, що захищає рідкий метал від дії компонентів повітря. При зварюванні в середовищі захисних газів плавильний простір захищається газом, який відтісняє повітря.

Границями ванни є оплавлені ділянки основного металу і раніше утвореного шва. У головній частині ванни метал інтенсивно взаємодіє із шлаком і газами. Ця частина нагрівається до значно вищої температури (2300°С), ніж її середнє значення 1800°С (мал. 5.10, *б*).



Мал. 5.10. **Зварювальна ванна:**
а – схема; *б* – розподіл температур вздовж ванни;
1 і 2 – шлак і метал, що кристалізуються; 3 – розплавлений шлак; 4 – розплавлений метал; 5 – основний метал; 6 – електрод; 7 – головна частина ванни; 8 – хвостова частина

Стовп дуги в головній частині здійснює механічний тиск $P_д$ на поверхню розплавленого основного металу, який є результатом сумісної дії

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

пружного удару плазми дуги, тиску газів і магнітного дуття, зумовленого електродинамічними зусиллями.

Тиск дуги витісняє рідкий метал з-під основи дуги і сприяє її проникненню вглиб металу. Величина тиску пропорційна квадрату сили зварювального струму. Існує емпірична залежність: кожні 100 А зварювального струму забезпечують 1 мм провару на сталі. Під дією тиску рідкий метал відкидається у хвостову частину плавильного простору, внаслідок чого з'являється різниця в рівнях рідини. Така ситуація можлива тільки при рівновазі між силою тиску дуги $P_д$ і гідростатичним тиском рідкого металу і шлаку $P_г$. Остання сила пропорційна питомій вазі металу, тобто за однакової величини зварювального струму глибина провару на алюмінії буде більшою за цей показник для сталі в такій мірі, в якій питома вага алюмінію менша за питому вагу сталі.

При віддаленні джерела нагрівання у хвостовій частині плавильного простору перевищується відведення теплоти в масу основного металу порівняно з притоком і починається твердіння – первинна кристалізація зварювальної ванни. Вона починається від частково оплавлених зерен основного металу або стовпчастих кристалів попереднього шару при багатошаровому зварюванні, які є готовими центрами кристалізації. Видима границя між металами зникає, чим забезпечується монолітність з'єднання. Шлак застигає пізніше металу (його температура плавлення на 200–400°С менша порівняно з металом), утворюючи шлакову кірку. Вона продовжує захищати поверхню зварного шва до повного охолодження.

Після зварювання шлак треба видалити, але це не завжди легко вдається, бо він будує свою решітку на готовому металевому «фундаменті», добудовуючи її. В разі великої розбіжності коефіцієнтів лінійного розширення і параметрів кристалічних решіток металу і шлаку на межі метал – шлак у процесі твердіння з'являються великі напруження, що полегшує вилучення шлаку або його вільне відділення. Це особливо важливо при багатошаровому зварюванні.

Теплота, що виділяється зварювальним джерелом нагрівання, поширюється на ділянки шва, що прилягають до основного металу, в якому змінюються структура і властивості металу. Це зона термічного впливу. Її ширина змінюється в широких межах залежно від способу і параметрів режиму зварювання, складу і товщини основного металу тощо.

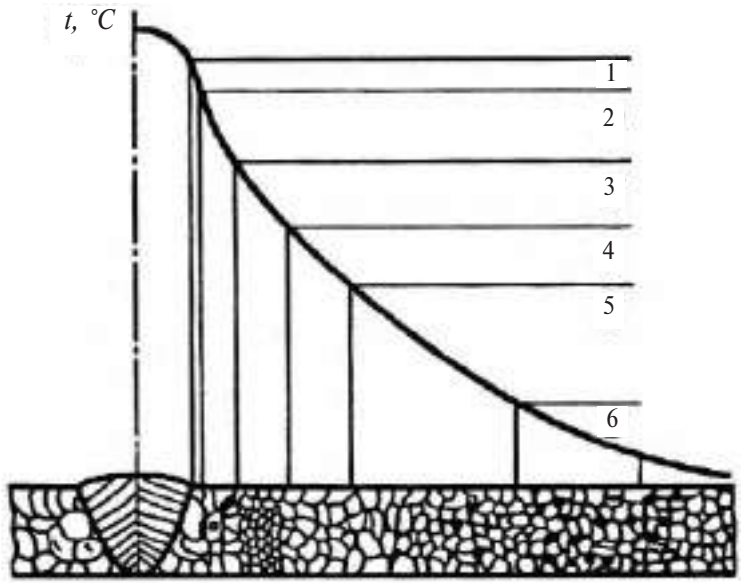
Будову зони термічного впливу можна розглянути на прикладі зварювання одношарового стикового шва на конструкційній сталі (мал. 5.11).

Перша ділянка прилягає безпосередньо до металу шва, основний метал перебуває у твердо-рідинному стані. Саме тут і відбувається зварювання – формування кристалітів шва на частково оплавлених зернах основного металу. Це зона оплавлення, вона визначає працездатність зварної конструкції.

Друга ділянка називається зоною перегріву (ділянка крупного зерна) і включає метал, нагрітий від температури 1200°С до температури плав-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

лення. У металі йде процес алотропічного перетворювання $\alpha \rightarrow \gamma$, що супроводжується зростанням зерен аустеніту, внаслідок чого погіршуються пластичні характеристики металу.



Мал. 5.11. **Ділянки біляшовної зони:**
1 – твердо-рідинного стану; 2 – перегріву; 3 – перекристалізації; 4 – неповної перекристалізації; 5 – рекристалізації; 6 – старіння

На третій ділянці – перекристалізації (нормалізації) – є метал, який став повністю аустенітним у процесі нагрівання.

На четвертій ділянці метал лише частково перекристалізовується, в інтервалі температури 720–880°С починаються алотропічні перетворення. Зміни структури меншою мірою впливають на якість зварного з'єднання, ніж зміни в перших трьох ділянках.

На п'ятій ділянці, де метал перебуває при температурі від 500°С до 720°С, проходить зростання роздрібнених при куванні, прокатці зерен основного металу і деяке його знеміцнення порівняно з основним металом. За певних умов можливе зниження пластичності й ударної в'язкості сталей, що містять до 0,3 % С. Це спричиняється старінням після гартування і дисперсійним твердінням. Старіння зумовлене фіксуванням твердого розчину, пересиченого газами. Їх розчинюваність при кімнатній температурі знижується, внаслідок чого надлишок виділяється у вигляді тонкодисперних оксидів, нітридів по границях і кристалографічних площинах зерен, внаслідок чого гальмується рух дислокацій і зменшується пластичність.

На шостій ділянці температура металу 100–500°С, значних перетворень тут немає, але газонасичений метал, як і в попередньому випадку, схильний до старіння за тим же механізмом і з тими ж наслідками.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При багатошаровому зварюванні біляшовна зона є не лише в основному металі, але і в металі шва. Вона відрізняється від розглянутої вище покращеними властивостями металу шва завдяки повторній термічний дії джерела нагрівання при накладенні наступного шару.

5.3. ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

У процесі зварювання розплавлений метал інтенсивно поглинає гази із довколишнього повітря, незважаючи на використання різних засобів захисту, таких як електродні покриття, флюси, захисні гази. Отже, взаємодіючими фазами є рідкий і твердий метали, газ і рідкий шлак. *Головна особливість металургійних реакцій при зварюванні – висока температура нагрівання, відносно малий об'єм розплавленого металу і короткий час протікання всього процесу. Хоча всі процеси взаємодії йдуть одночасно, для зручності краще їх розглянути окремо.*

Під час зварювання до рідкого металу проникають кисень, азот, водень з повітря, а також разом зі зварювальними матеріалами, від поверхневих забруднень тощо. Вони можуть розчинятись у металі, наприклад, водень, або утворювати хімічні сполуки. Так, залізо утворює з киснем оксиди FeO, Fe_3O_4, FeO_2, а з азотом – нітриди Fe_2N і Fe_4N. Ці хімічні сполуки, у свою чергу, можуть розчинятися, погіршуючи якість металу, або не розчинятися у розплаві, переходячи у шлак. При температурі плавлення металу розчинність газів знижується стрибкоподібно, вони не встигають повністю виділитися з ванни і лишаються в затверділому шві у вигляді пор.

Рідкий метал може також окислюватися водяною парою, двоокисом вуглецю, тому при зварюванні таких хімічноактивних металів, як алюміній, титан і їх сплави, треба використовувати безкисневі флюси або інертні гази.

При плавленні електродного покриття, флюсу, осердя порошкового дроту утворюється шлак, який ізолює рідку металеву ванну від повітря.

Потрібний склад шва може бути забезпечений шляхом введення в нього легуючих елементів з основного й електродного металу, електродного покриття або флюсу.

Легуючі елементи додають у вигляді феросплавів – FeMn, FeTi, FeSi, FeV. Це дає змогу збільшити коефіцієнт переходу елемента в шов і здешевити процес.

Хімічний склад металу шва можна розрахувати за формулою:

$$C_{ш} = C_{о}Y_{о}K_{по} + C_{е}Y_{е}K_{пе},$$

де $C_{ш}$ – вміст елемента у шві, %; $C_{о}$, $C_{е}$ – вміст елемента відповідно в основному металі і в електроді, %; $Y_{о}$, $Y_{е}$ – частки основного й електродного металу в шві; $K_{по}$ – коефіцієнт переходу елемента з основного металу в метал шва, залежить від хімічної активності елемента, виду і технології зварювання тощо, визначається дослідним шляхом; $K_{пе}$ – коефіцієнт переходу елемента з електродного металу в метал шва, залежить від тих же обставин, але кількісно вище, ніж $K_{по}$ внаслідок більшої температури крапель електродного металу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Частка основного металу

$$Y_o = F_o/(F_o + F_e)$$

де F_o, F_e – площі шва, утворені відповідно основним і електродним металом.

Частка електродного металу

$$Y_e = 1 - Y_o.$$

При ручному дуговому зварюванні $Y_o = 0{,}15...0{,}4$, при автоматичному зварюванні під флюсом електродним дротом може досягти 0,7, а при наплавленні стрічкою $Y_o = 0{,}1...0{,}15$.

5.4. ПОКАЗНИКИ ЗВАРЮВАНОСТІ І МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Зварюваність визначається сукупністю технологічних характеристик основного металу, його реакцією на термічний цикл зварювання і на здатність при прийнятому технологічному процесі забезпечити одержання надійного в експлуатації економічного зварного з'єднання. Розрізняють фізичну і технологічну зварюваність.

Фізична зварюваність – здатність матеріалів при зварюванні утворювати тверді розчини, хімічні сполуки і спонукати дифузійні процеси, що є необхідними для одержання монолітного з'єднання. Таку здатність мають практично всі конструкційні метали і сплави, а також ряд сполук металів з неметалами.

Технологічна зварюваність характеризує реакцію металу на термічний цикл зварювання і здатність при цьому утворювати зварне з'єднання із заданими експлуатаційними властивостями. З цієї точки зору метали і сплави можна поділити на кілька груп – з хорошою, задовільною, обмеженою і поганою зварюваністю.

Основними показниками технологічної зварюваності є окислюваність і чутливість до термічного циклу змін температури металу під час зварювання. Чутливість до термічного циклу – найголовніший із показників зварюваності.

Окислюваність визначається хімічними властивостями металу: чим більше він схильний до окислення, тим якісніший потрібен захист при зварюванні.

Внаслідок того, що температура нагрівання і охолодження у різних зонах з'єднання різна (мал. 5.11), у них відбуваються різні структурні і фазові перетворення, що часто негативно впливають на властивості шва.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Як правило, *чим вище міцність зварюваного матеріалу і вище ступінь його легованості, тим чутливіший він до термічного циклу, тим складніша технологія зварювання.* Цей показник оцінюють за властивостями різних зон з'єднання у статичних, динамічних, вібраційних випробуваннях і металографічних дослідженнях.

Гарячі тріщини – крихке міжкристалеве руйнування металу шва і біляшовної зони, що з'являється у твердо-рідинному стані у процесі кристалізації, а також у твердому металі за високих температур. Для оцінки стійкості металу шва проти утворення тріщин використовують цілий ряд технологічних проб, які імітують реальні зварні з'єднання.

Зразки (не менше трьох) випробовують, коли треба визначити якість основного металу і зварювальних матеріалів, під час перевірки нових видів і режимів зварювання і приймальних випробувань. Тріщини виявляють зовнішнім оглядом поверхні контрольного шва, злому шва після його руйнування або на вирізаних з нього макрошліфах. При цьому одержують якісну характеристику стійкості проти утворення гарячих тріщин.

Для кількісної оцінки застосовують машинні випробування, які виконуються на спеціальній машині зі змінними затискачами для складання і зварювання таврових і стикових з'єднань. Їх розтягують або вигинають під час зварювання. *Стійкість визначається критичною швидкістю деформації, тобто тією максимальною швидкістю, при якій ще не виникають поздовжні тріщини. Чим більша ця швидкість, тим більша стійкість металу проти утворення гарячих тріщин.*

Для запобігання виникненню тріщин треба контролювати вміст у металі шкідливих домішок – сірки і фосфору, правильно вибирати присадний матеріал і технологію зварювання.

Холодні тріщини – локальне міжкристалеве руйнування, яке з'являється у зварних з'єднаннях за температур нижче 200°С. Причинами їх появи може бути крихкість металу внаслідок утворювання структур, що гартуються при швидкому охолодженні, залишкові напруження в з'єднаннях, підвищений вміст водню в зварних швах, який посилює негативний вплив перших двох чинників.

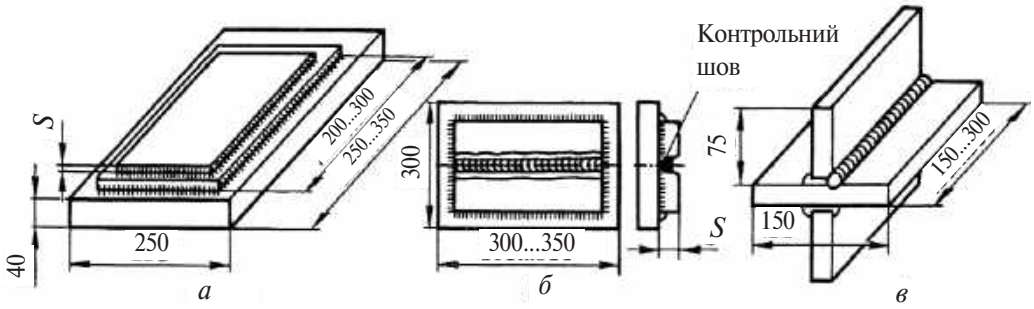
Оцінка проводиться під час зварювання технологічних проб, які також подібні до реальних зварних з'єднань (мал. 5.12).

Найбільш повно виявляються тріщини через 5–20 діб після зварювання, зовні оглядають зразки (мал. 5.12, *а, б*) і їх макрошліфи.

Для кількісної оцінки застосовують зразки (5.12, *в*), зібрані з трьох пластин товщиною не менше 4 мм із зазором не більше 0,5 мм. Зварювання проводять при кількох температурах. Після зварювання кожного шва зразок нагрівають до заданої температури, після чого зварюють наступ-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ний шов. Наявність тріщини перевіряють на макрошліфах. Якісно оцінюють за наявністю або відсутністю тріщин, кількісно – за мінімальною температурою, коли ще не видно утвореної тріщини.



Мал. 5.12. **Зразки для визначення стійкості металу шва проти холодного тріщиноутворення, що імітують реальні з'єднання внапустку (*а*), стикові (*б*) і таврові (*в*) (*S* – товщина металу)**

До непрямих методів оцінки схильності до утворення холодних тріщин можна віднести визначення вуглецевого еквівалента:

$$C_{\text{ek}} = C + \frac{M_{\text{n}}}{6} + \frac{S_i}{24} + \frac{N_i}{10} + \frac{Cr_i}{5} + \frac{M_{\text{o}}}{4} + \frac{V}{14}.$$

Символ кожного елемента означає максимальний вміст його в металі у відсотках. Якщо вуглецевий еквівалент $C_{\text{ек}} > 0{,}45$ %, то для забезпечення стійкості проти утворення холодних тріщин потрібен попередній, а інколи і супутній підігрів до температури 100–400°С і проведення термообробки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке електрична дуга, які її будова і властивості?
2. Завдяки чому повітряний проміжок стає електропровідним?
3. Які складові теплової потужності визначають плавлення основного і присадного металу?
4. Яке призначення джерела живлення зварювальної дуги?
5. Що називають статичною характеристикою зварювальної дуги?
6. Що називають зовнішньою характеристикою джерела живлення?
7. Як забезпечити стійке горіння дуги за допомогою джерела живлення?
8. Які особливості горіння дуги змінного струму?
9. Як регулюється зварювальний струм за допомогою джерела?
10. Назвіть основні технічні параметри джерела живлення зварювальної дуги.
11. Що називають відносною тривалістю навантаження? Як вона пов'язана із силою номінального зварювального струму?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

12. Які сили діють на краплю електродного металу? Охарактеризуйте їх вплив на перенос його у зварювальну ванну.
13. Чи можна здійснити керований перенос електродного металу і за яких умов?
14. Як формується зварний шов?
15. Що таке зона термічного впливу і як вона змінює властивості металу?
16. Які металургійні реакції відбуваються у зварювальній ванні?
17. Як можна розрахувати склад зварного шва?
18. Як визначають стійкість зварного шва до гарячих тріщин?
19. Як визначають стійкість зварного шва і біляшовної зони до холодних тріщин?

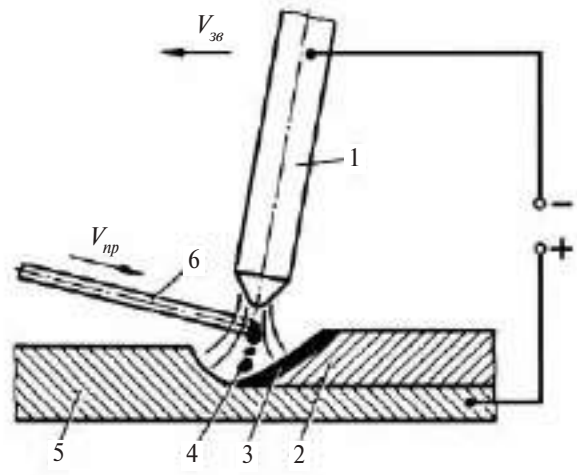
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 6

РУЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

6.1. ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ (181)

Спосіб винайшов М. Бенардос у 1881 р. *Суть його полягає в тому, що зварювальна дуга горить між неплавким (спочатку вуглецевим, пізніше графітовим) електродом 1 і виробом 5, внаслідок чого розплавляються основний метал 5 і присадний метал 6, який подається у стовп дуги* (мал. 6.1).



Мал. 6.1. **Схема зварювання графітовим електродом з присадкою**

Краплі 4 розплавленого присадного металу змішуються з розплавленим основним металом у зварювальній ванні 3, яка кристалізується, утворюючи зварний шов 2. Плавильний простір, як правило, погано захищений від дії зовнішнього середовища. Як флюс використовується бура. Її наносять на зварювані кромки і на присадний пруток.

6.1.1. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання

Основними параметрами режиму є сукупність характеристик зварювального процесу, що забезпечують одержання зварних швів заданих розмірів, форми і якості.

Вид струму, полярність. Зварювання виконується на постійному струмі прямої полярності. Так забезпечується більш стабільне горіння дуги і не навуглецьовується зварювальна ванна. Інколи використовується змінний струм.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Діаметр графітового електрода. Графітові електроди для зварювання і наплавлення виготовляють круглими обмідненими або необмідненими завдовжки 250 мм, діаметром 4, 6, 8, 10, 15 і 18 мм. Застосовують і пластинчасті електроди.

Графітовий електрод у процесі зварювання не розплавляється, всі витрати графіту пов'язані лише з його випаровуванням.

Сила зварювального струму. Вибирається залежно від діаметра електрода d_e. Для діаметрів електродів 4, 6, 8, 10 і 15 мм сила зварювального струму I відповідно 60–80, 120–140, 180–200, 200–300 і 300–500 А тощо. Робочий торець електрода на довжині 10–20 мм заточують на конус із притупленням 1,5–2 мм.

Діаметр присадного прутка. Може коливатися в широких межах від 2 до 10 мм.

Техніка зварювання з присадним дротом аналогічна тій, що застосовується при газовому зварюванні.

Зварювання графітовим електродом використовується дуже рідко, головним чином, для одержання зварних з'єднань невідповідального призначення при виготовленні виробів із низьковуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів та заварювання дефектів на чавунному литві. Цей не дуже складний спосіб є доступним для практичного використання на кожному зварювальному посту.

6.1.2. Матеріали і технологія зварювання сталей, чавуну і кольорових металів

При виготовленні тонколистових конструкцій ефективне зварювання з відбортованими кромками без присадки на режимах, наведених у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Параметри режиму зварювання низьковуглецевої сталі з відбортованими кромками

Товщина, мм	Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, мм
1,5+1,5	5	90–100
2,0+2,0	6	125–135
2,5+2,5	6–8	200–250
3,0+3,0	6–8	250–275

Незважаючи на те, що чавун має погану зварюваність, існує кілька технологій його зварювання з використанням різних за складом матеріалів, які забезпечують одержання металу з широким спектром властивостей.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Найважливішими з них є гаряче і холодне зварювання. *При гарячому зварюванні* обов'язковим є попереднє (а іноді супровідне) підігрівання до температури 650–700°С. Зварювання відбувається швидко, без перерв, з використанням графітового електрода діаметром 20–35 мм з присадним чавунним прутком (див. розд. 4) діаметром 8–12 мм (зварювання відбувається на постійному струмі прямої полярності).

Сила струму – у межах 1000–1400 А. Після зварювання – повільне охолодження зі швидкістю не більше 50–100°С/год. Краще за все помістити виріб у піч, нагріту до 700°С, й охолоджувати з нею. Це найліпший спосіб зварювання чавуну: зварний шов має структуру відповідного чавуну з усіма властивостями основного металу. Незважаючи на важкі умови праці зварника та значну трудомісткість, спосіб використовують при ремонті зварюванням відповідальних важконавантажених масивних чавунних виробів.

Зварювання міді здійснюють довгою дугою, щоб запобігти шкідливому впливу на зварювальну ванну окису вуглецю. Присадку, що вмішує розкислювачі, наприклад, з бронзи БрКМц 3-1, не занурюють у ванну, а тримають під кутом 30° до поверхні виробу на відстані 5–6 мм від поверхні, а сам графітовий електрод тримають під кутом 75–90° до виробу.

Для зварювання латуні застосовують латунний дріт таких марок, як ЛЦ39,5, ЛЦ17К3, а для зварювання бронз – відлиті стрижні того ж складу, що і основний метал. Флюс використовують той же, що і для газового зварювання. Його наносять на пруток або засипають на розчищені поверхні. Зварювання ведуть правим і лівим способами. Правий більш продуктивний, тому що на основному металі концентрується більше тепла. Зварювання виконується в нижньому положенні на графітових підкладках з формуючими канавками. Після зварювання рекомендується проковування.

Нікелеві сплави зварюють з використанням присадки марки НМц2,5 і такого ж флюсу, як при газовому зварюванні. Метал малої товщини (3–5 мм) зварюють на режимі d_e = 6…8 мм; I = 120…140 А; $U_д$ = 22…26 В.

Використання цього способу дуже ефективне для зварювання ніхромових дротів або стрічок, які застосовуються як нагрівачі в печах, реостатах і т. д. Зварювання можна здійснювати і на змінному струмі силою 60–90 А без присадки, швидко, до утворення кульки оплавленого металу.

Свинець товщиною до 6 мм зварюють без розчищення кромок. Кромки товстішого металу розчищають, розчищення V-подібне з кутом 70°, притуплення 4 мм. Процес виконують за кілька проходів.

Для роботи в монтажних умовах рекомендується присадку у вигляді дроту або «локшини» завдовжки 300–350 мм закладати в зазор стику для запобігання витіканню металу зварювальної ванни і підвищення

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

продуктивності. Зварювання виконують на швидкості більшій, ніж при газополуменевому процесі. Графітовий електрод встановлюють під прямим кутом до виробу, а присадку – під кутом 30–45° до поверхні листа. Зразу після зварювання зварний шов рекомендується прокувати.

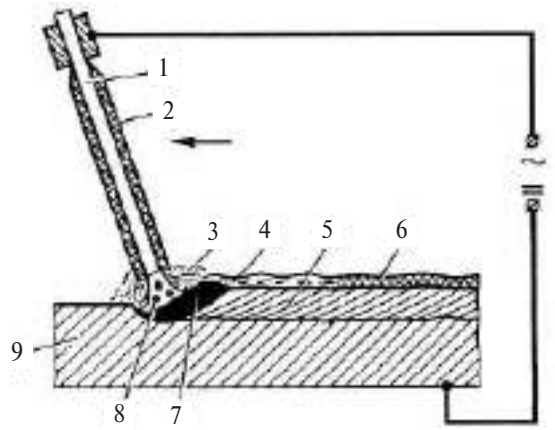
У деяких випадках, наприклад, при з'єднанні алюмінієвих шин, електричних вводів, можна використовувати зварювання графітовим електродом. Метал товщиною до 2,5 мм не розчищають, можлива відбортовка кромок. Товщі листи потребують розчищення з кутом 70–90°. Флюс використовують той же, що і при газовому зварюванні – марки АФ-4а.

6.2. ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ПОКРИТИМ ЕЛЕКТРОДОМ (111)

Винайдений М. Славяновим у 1888 р. спосіб дугового зварювання плавким електродом відрізнявся від попереднього тільки тим, що сам електрод розплавляється і його метал надходить у зварювальну ванну, але плавильний простір був так само незахищений від впливу зовнішнього середовища. Далі, завдяки вперше сформульованим О. Кельбергом принципам, на стрижень почали наносити покриття, компоненти якого сприяли підвищенню стабільності горіння дуги і здійснювали фізичний і хімічний захист зварювальної ванни і зварного шва, завдяки чому якість зварного з'єднання стала досить високою.

6.2.1. Вибір параметрів режиму

Сутність зварювання плавким покритим електродом полягає в тому, що дуга, яка живиться постійним або змінним струмом, горить між стрижнем 7, на якому нанесено покриття 2, і виробом 9 (мал. 6.2).



Мал. 6.2. **Схема зварювання покритим електродом**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Краплі розплавленого електродного металу 8 змішуються з розплавленим основним металом, утворюючи зварювальну ванну 7, яка внаслідок відведення тепла кристалізується у вигляді зварного шва 5.

Компоненти покриття 2, що розплавляються, утворюють газовий 3 і шлаковий 4 захист, що перешкоджає доступу повітря у плавильний простір, причому рідкий шлак 4 захищає поверхню хоча і твердого, але високотемпературного зварного шва 5 до моменту затвердіння з утворенням шлакової кірки 6. Основними параметрами режиму є вид струму, його сила, полярність, діаметр електрода, напруга.

Вид струму і полярність. Можливі три варіанти використання джерел живлення: змінного струму, постійного струму прямої або зворотної полярності. При виборі цього параметра на першому місці є міркування щодо високої стабільності горіння дуги, що визначається властивостями компонентів покриття. У разі можливості використання всіх трьох варіантів треба враховувати такі фактори, як глибина провару (більша на постійному струмі зворотної полярності), продуктивність (більша на постійному струмі прямої полярності), наявність магнітного видування (менша на змінному струмі), вартість обладнання (джерела живлення змінного струму дешевші, надійніші в експлуатації).

Діаметр електрода. Визначається товщиною зварюваного металу, просторовим положенням (для стельового положення діаметр електрода не перевищує 4 мм), номером проходу (при багатошаровому зварюванні діаметр електрода першого проходу не більше 4 мм).

Використовують електроди з діаметрами в межах 2–6 мм. Для металу завтовшки 2–2,5 мм при зварюванні в нижньому просторовому положенні застосовують електроди діаметром 2–2,5 мм. Якщо товщина металу 2–5, 5–10 і більше 10 мм, то діаметр електрода відповідно 3–4, 4–6 і 5–6 мм.

Сила зварювального струму залежить від діаметра електрода і визначається за формулою:

$$I_{зв} = kd_e,$$

де k = 25–50 – емпіричний коефіцієнт. Залежить від електротеплофізичних характеристик металу стрижня, просторового положення зварювання, властивостей покриття, від попереднього підігрівання (для ручного зварювання знаходиться в межах 50–350 А).

Напруга на дузі. Залежить від властивостей покриття, просторового положення, наявності попереднього підігрівання. Знаходиться у межах 18–30 В, але треба дотримуватись вказівок щодо коливань цього параметра, наведених у паспортних даних та на етикетці пачки електродів.

При зварюванні стикових і кутових багатошарових швів кількість шарів залежить від товщини металу, а площа поперечного перерізу ва-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ликів – від просторового положення, товщини металу і номера проходу. Так, при зварюванні металу завтовшки 6–10 мм у першому проході для всіх просторових положень площа поперечного перерізу невелика і приблизно становить 20–30 мм^2, в той час у другому і подальшому проходах для нижнього просторового положення – 30–60 мм^2, для вертикального – 40–60 мм^2, а для горизонтального і стельового – 30–40 мм^2. Кількість шарів залежно від товщини металу наведена нижче:

Товщина металу, мм	1–5	6	8	10	12	14	16	18–20
Кількість шарів при зварюванні швів:								
стикових	1	2	2–3	3–4	4	4–5	5–6	5–6
кутових	1	1	1	2	2–3	3–4	5	5–6

6.2.2. Техніка зварювання

Залежно від просторового положення зварного шва застосовуються спеціальні прийоми при виконанні багатопрохідних швів.

Запалюють дугу короткочасним доторканням кінця електрода до виробу. Внаслідок протікання струму короткого замикання і наявності контактного опору торець електрода швидко нагрівається до високої температури і після відриву електрода від виробу встановлюється дуговий розряд так, що довжина дуги становить 3–4 мм. Цей момент називають «гарячим стартом». Існують кілька способів поліпшити його здійснення. Так, на торець електрода можна наносити шар електропровідного в твердому стані шлаку (не треба стукати електродом або «чиркати» по виробу). Застосовують електроди з подвійним покриттям (внутрішній шар має стабілізуючі компоненти, зовнішній – усі інші). Такі покриття сприяють легкому запалюванню дуги за будь-якої довжини електрода і рекомендуються для зварників-початківців. Можна також користуватися графітовою пластиною – збуджувати дугу на ній і переносити її потім на виріб. Можна застосовувати спеціальні прилади – осцилятори або стабілізатори, які подають у дуговий проміжок стабілізуючий імпульс у момент короткого замикання. Після збудження дуги електрод починає розплавлятися зі швидкістю плавлення $V_{пл}$, тому зварник повинен подавати його у плавильний простір зі швидкістю подачі електрода $V_{пе}$, яка має дорівнювати швидкості $V_{пл}$. Якщо такої рівноваги немає, то можливий обрив дуги або коротке замикання.

Другий рух виконується зварником вздовж зварного шва зі швидкістю $V_{зв}$, яка залежить від діаметра електрода, зварювального струму, виду шва тощо. Вона жорстко не регламентується, бо немає відповідних приладів для її контролю.

Одержаний у результаті цих першого і другого рухів шов має ширину (0,5–1,5) d_e і називається нитковим. Такі шви використовують при зварюванні тонкого металу, першого шару при багатопрохідному зварюванні електродом, що опирається, при холодному зварюванні чавуну

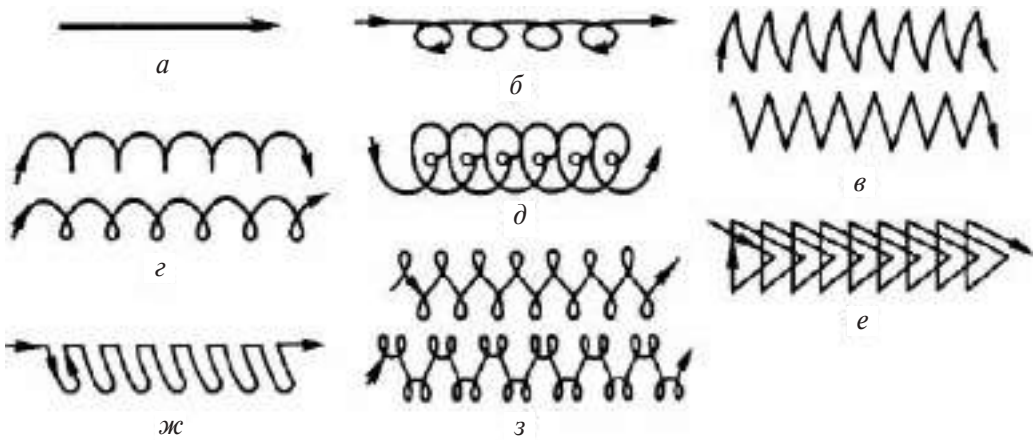
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тощо. Проте для надійного проплавлення зварюваних кромок і хорошого формування шва зварник виконує третій рух – поперечне коливання, що збільшує ширину шва до (2–3) d_e. Цей рух визначається формою розчищення, розміром і просторовим положенням шва, властивостями металу, кваліфікацією зварника і т. д. (мал. 6.3).

Прямолінійний рух без поперечних коливань для одержання вузьких (ниткових) валиків шва (мал. 6.3, *а*) *використовується* під час зварювання тонкого металу, першого шару багатошарового шва, підварювання дефектів, холодного зварювання чавуну. Ширина валика 0,8–1,5 діаметра електрода.

Короткі коливання зворотно-поступального руху (мал. 6.3, *б*) для збільшення ширини шва сприяють дегазації зварювальної ванни і покращують зовнішній вигляд шва. Довгі коливання потрібні для зварювання у стельовому і вертикальному положеннях.

Рухи для збільшення ширини шва (мал. 6.3, *в*) *використовуються* при зварюванні в нижньому положенні стикових з'єднань без розчищання кромок при наплавленні. Ширина валика 2–3 діаметри електрода.



Мал. 6.3. **Траєкторії руху робочого кінця електрода**

Прогріванню однієї з кромок, наприклад, при зварюванні різнотовщинних деталей, сприяють рухи, показані на мал. 6.3, *г*.

Рухи, що забезпечують підвищений прогрів кореня шва, зображено на мал. 6.3, *д*.

Для збільшення прогрівання кромок і кореня шва при зварюванні стикових з'єднань зі скосом двох кромок і кутових з'єднань у нижньому і вертикальному положеннях використовуються рухи, показані на мал. 6.3, *е*.

Рухи для сильного прогрівання обох кромок (мал. 6.3, *ж*) *застосовуються* при зварюванні кутових швів.

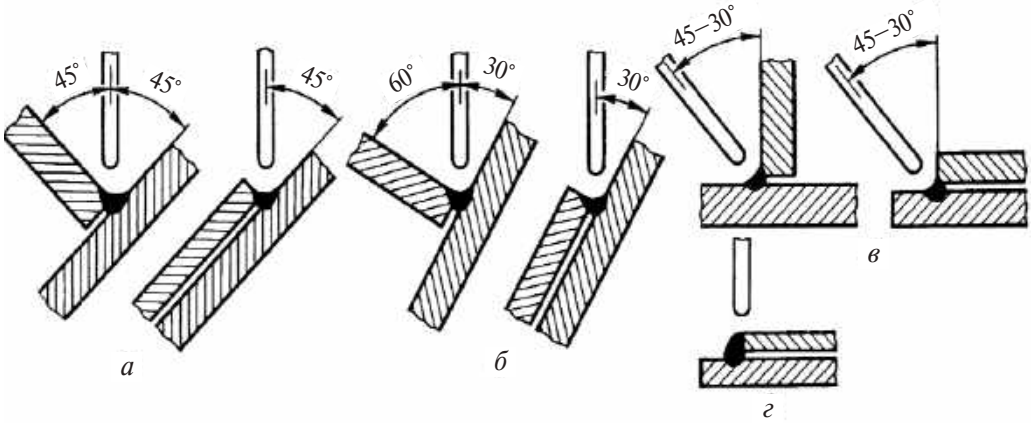
Якісне підігрівання обох кромок при однопрохідному зварюванні стикових і кутових швів забезпечують рухи, зображені на мал. 6.3, *з*.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Стикові з'єднання без обробки кромок зварюють широким швом, однобічним або двобічним, з обробкою – одношаровим або багатошаровим способом залежно від товщини металу і форми підготовки кромок. Кількість шарів вибирається, як указано вище. Зварювання починають з ретельного провару кореня шва електродом діаметром не більше 4 мм, а подальші шари наплавляють широкими валиками електродами більшого діаметра. У відповідальних конструкціях корінь вирубують механічним або видаляють термічним способом, після чого наплавляють підварений шов.

Кутові шви краще за все зварювати «човником»; при цьому добре проплавляється як кут, так і стінки листів без підрізів і непроварів; до того ж за один прохід можна одержувати шви великого перерізу.

В інших випадках зварювання просте: катет одношарового кутового шва не має перевищувати 8 мм (мал. 6.4).



Мал. 6.4. **Способи зварювання кутових швів:**
а – в симетричний «човник»; *б* – в несиметричний «човник»; *в* – в кут; *г* – з оплавленням кромки

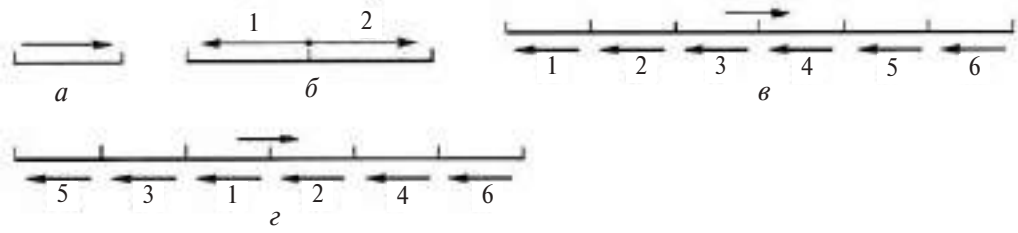
Короткі шви довжиною до 250 мм зварюють напрохід, шви середньої довжини (250–1000 мм) – від середини до країв. Довгі шви зварюють зворотно-поступальним способом, причому довжина кожного ступеня є в межах 100–350 мм, а зварювання виконують або послідовно, або у розкид від середини до країв (мал. 6.5).

При виготовленні металоконструкцій з товстолистового металу для зниження зварювальних напружень зварювання здійснюють подвійним швом, каскадом або гіркою – способами, які дають можливість підтримувати високу температуру в ділянці кореня шва і тим самим забезпечити пластичну деформацію і запобігти виникненню тріщин (мал. 6.6).

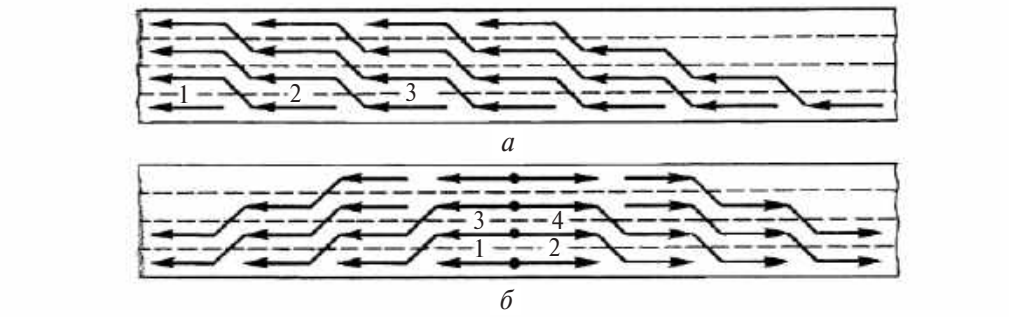
Коли зварник закінчує оплавлення електрода (лишається огарок завдовжки 30–40 мм), на поверхні зварювальної ванни утворюється кра-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тер – усадочна раковина, що послаблює переріз шва і є причиною виникнення тріщин. Його треба заварювати, подовжуючи дугу до її природного обриву.



Мал. 6.5. **Схема виконання зварних швів:**
а – напрохід; *б* – від середини до країв; *в* – зворотно-поступальна послідовна; *г* – зворотно-поступальна у розкид



Мал. 6.6. **Послідовність виконання багатошарових швів при ручному і напівавтоматичному зварюванні:**
а – каскадом; *б* – гіркою

Залежно від розмірів, форми і характеру конструкції виникає необхідність виконання зварювальних робіт у різних просторових положеннях (мал. 6.7).

Більш детально різновиди положень викладені в ДСТУ ISO 6947:2014 «Зварювання та споріднені процесси. Робочі положення».

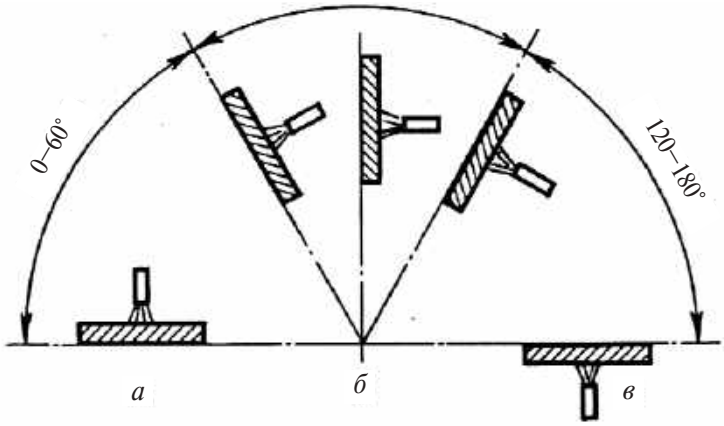
Найлегше зварювати шви у нижньому положенні. Вертикальні шви виконують двома способами – знизу вверх і зверху вниз. При зварюванні знизу вверх затверділий шов утворює полицю, на якій утримуються краплі металу.

При зварюванні зверху вниз рідкий метал підтікає під основу дуги, зменшуючи провар, завдяки чому можна зварювати тонкостінний метал без загрози його пропалу. Проте це можливо лише при відповідному покритті і високій майстерності зварника.

Зварювання здійснюється короткою дугою, поперечні коливання мають амплітуду (1,5–2) d_e, зварювальний струм зменшується на 15–20 %

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

порівняно з нижнім положенням, а діаметр електрода не повинен перевищувати 4–5 мм.



Мал. 6.7. **Схема зварювання у різних просторових положеннях:** *а* – нижньому; *б* – вертикальному і горизонтальному; *в* – стельовому

Горизонтальні шви виконувати складніше. Стикові шви, що мають V-подібне і K-подібне розчищення, повинні мати нижню кромку нерозчищеною, щоб полегшити відкладання наплавленого металу. Сила струму і діаметр електрода такі ж, як і для вертикального положення.

Найбільш складними у виконанні є стельові шви. Зварювання виконують електродом діаметром не більше 4 мм, короткою дугою, сила струму на 20–25 % менша, ніж у нижньому положенні. Треба пересаджувати краплю за краплею у зварювальну ванну, де рідина утримується в такому положенні лише силами поверхневого натягнення. Саме тому ванна повинна мати мінімальний об'єм.

Наскільки можливо, потрібно намагатися розміщувати виріб таким чином, щоб усі його шви були розташовані у найбільш вигідному для зварювання положенні – нижньому. Це досягається використанням маніпуляторів, обертачів, позиціонерів і т. д.

Ручне дугове зварювання покритими електродами є універсальним способом одержання зварних виробів майже з усіх конструкційних металів і сплавів у цехових, монтажних і польових умовах, у різних просторових положеннях, у повітрі і під водою.

Якість зварного шва дуже залежить від кваліфікації зварника, який працює у важких умовах, тому продуктивність його праці невисока. Вона визначається коефіцієнтами розплавлення $\alpha_р$, наплавлення $\alpha_н$ і витрат ψ.

Коефіцієнти $\alpha_р$, $\alpha_н$ показують, яка кількість металу у грамах розплавляється або переходить у зварний шов при силі струму в 1 А за одну годину, г/(А · год):

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

$$\alpha_р = \frac{G_р}{I_{зв} \cdot t};\ \alpha_н = \frac{G_н}{I_{зв} \cdot t},$$

де $G_р$, $G_н$ – кількість відповідно розплавленого і наплавленого у шов електродного металу, г; $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А; t – час зварювання, год.

Коефіцієнт витрат ψ, %, пов'язаний із втратами металу на угар, розбризкування і випарювання:

$$\psi = \frac{\alpha_р - \alpha_н}{\alpha_р}.$$

Значення коефіцієнтів $\alpha_р$, $\alpha_н$, ψ залежать від способу зварювання, просторового положення, типу електрода і параметрів режиму.

Основним показником продуктивності є значення $\alpha_н$. Для різних способів зварювання $\alpha_н$, г/(А · год), такі: ручне дугове покритими електродами – 6–12, те ж з покриттям, що містить залізний порошок, – 12–15, автоматичне під флюсом – 14–18, у середовищі захисних газів плавким електродом – 18–22, електрошлакове – 25–26.

Час зварювання можна визначити за формулою:

$$t = \frac{G_н}{\alpha_н \cdot I_{зв}} = \frac{F_н \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_н I_{зв}},$$

де $F_н$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу, см^2; l – довжина шва, см; γ – питома вага металу, г/см^3.

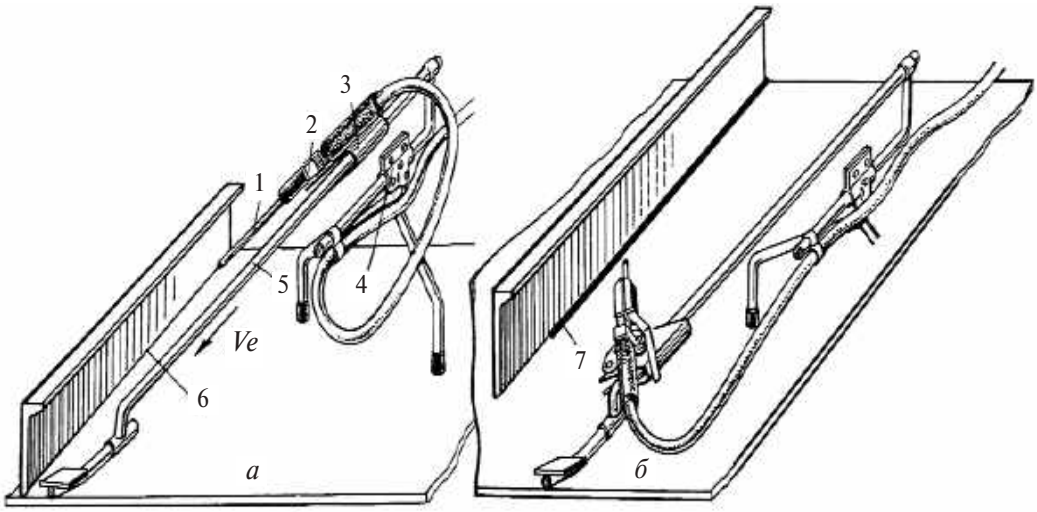
З формули видно, що для зменшення часу потрібно збільшувати зварювальний струм $I_{зв}$, коефіцієнт наплавлення $\alpha_н$ і зменшувати $F_н$.

Струм і кількість наплавленого металу можна збільшити використанням електродів великих діаметрів (6–10 мм) або кількох електродів меншого діаметра (пучком), але це пов'язане зі збільшенням перерізу кабелів для підведення струму і електродотримачів, що призводить до швидкої втоми зварника. Це може бути прийнятним при заварюванні дефектів литва і заповненні розчищення товстолистового металу в нижньому положенні.

Можна використовувати електроди, що містять залізний порошок у покритті, електроди з глибоким проваром (за рахунок спеціального тугоплавкого покриття на торці утворюється чохольчик, який спрямовує сили газового дуття вглиб металу) та інші способи зменшення величини $F_н$.

Найбільшу продуктивність можна отримати тільки при використанні спеціалізованих різновидів зварювання, наприклад, зварювання нахиленим електродом. Цей спосіб був винайдений у 1930-их роках Силіним і вдосконалений у 1950-их роках японськими винахідниками, які назвали його гравітаційним зварюванням. Схема його наведена на мал. 6.8.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 6.8. **Схема гравітаційного зварювання**

Спеціальний електрод 1 з електропровідним флюсом на торці встановлюється в електродотримач 2, закріплений на ізольованій втулці 3, яка ковзає по напрямній 4 спеціальної триноги 5 (мал. 6.8, *а*). Вона встановлюється під певним кутом до місця зварювання 6.

При вмиканні зварювального струму покриття на торці електрода розплавляється, дуга виникає сама по собі й електрод, опираючись у кут 6 з'єднання, починає розплавлятися, ковзає під дією сили ваги вниз. Коли майже весь електрод розплавиться, центр ваги електродотримача зміщується вправо (мал. 6.8, *б*), він віддаляється від шва 7 і зварювання припиняється. Робітник змінює електрод, переміщує триногу на нове місце, і процес зварювання повторюється.

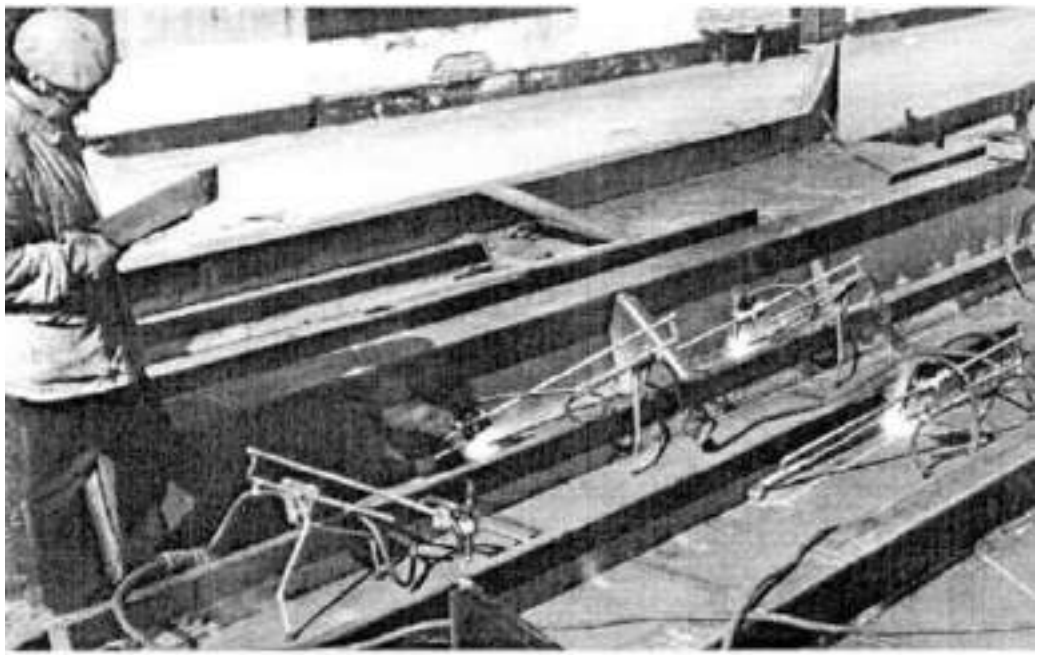
У суднобудуванні при зварюванні таврових з'єднань використовується спосіб гравітаційного зварювання або зварювання нахиленим електродом із застосуванням спеціальних електродів ОЗС-17Н, ОЗС-22Н і простих пристроїв пружинного типу або триніг. Це дуже продуктивний спосіб зварювання, що не потребує високої кваліфікації зварника, швидко освоюється у виробництві. Один зварник може обслуговувати одночасно не менше чотирьох таких пристроїв (мал. 6.9), а кількість металу, наплавленого за одну годину, може досягти 40–45 кг.

6.2.3. Зварювання вуглецевих, низько- і середньолегованих сталей

Для ручного дугового зварювання використовуються електроди – сталеві стрижні з нанесеними покриттями. Як стрижні можуть використовуватися суцільнотягнутий дріт або відлиті прутки відповідного складу. Класифікуються електроди за призначенням (для зварювання сталей, чавуну, міді і т. д.), за технологічними умовами використання (для зварю-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вання у всіх просторових положеннях, у нижньому положенні, для зварювання з глибоким проваром і т. д.), за типом покриття (рутилове, основне, органічне) і за способом виготовлення (опресовкою або зануренням).



Мал. 6.9. **Процес гравітаційного зварювання**

До складу покриття входять компоненти стабілізуючі, для захисту плавильного простору, легуючі і зв'язуючі.

Стабілізуючі компоненти – K, Na, Ca (у вигляді солей вуглецевої кислоти K_2CO_3, Na_2CO_3, $CaCO_3$) знижують ефективний потенціал іонізації (мал. 5.2).

Компоненти для хімічного захисту плавильного простору – розкислювачі Mn, Si, Ti, які мають більшу спорідненість до кисню, ніж залізо, вводяться у вигляді феросплавів. Так вони краще засвоюються і коштують дешевше.

Компоненти для фізичного захисту плавильного простору – шлакоутворюючі, газоутворюючі. Шлакоутворюючі (ільменітовий і рутиловий концентрати, польовий шпат, плавиковий шпат, кремнезем, граніт, мармур) при розплавленні покривають шлаком поверхню зварювальної ванни і перешкоджають проникненню повітря до неї. Газоутворюючі ($CaCO_3$, $MgCO_3$, крохмаль, целюлоза) в зоні дуги розпадаються або згорають з утворенням CO_2 і пари H_2O, внаслідок чого повітря відтиснюється від плавильного простору і здійснюється захист, головним чином, від азоту.

Легуючі компоненти Mn, Si, Ti, Cr, V, W тощо покращують властивості зварного шва і вводяться у вигляді феросплавів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Зв'язуючі компоненти – водні розчини силікатів натрію та калію – рідке скло, і пластифікатори, які поліпшують пластичні властивості покриття (бентоніт, каолін, декстрин, слюда). Інколи для підвищення продуктивності в покриття додають залізний порошок (до 60 % маси покриття).

Умовне позначення електродів для дугового зварювання згідно з ДСТУ EN ISO 2560:2014 Матеріали зварювальні. Електроди покриті для ручного дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей.

Класифікація виглядає таким чином.

За своїм призначенням електроди класифікують, виходячи з міцності і динамічних властивостей металу шва, наплавленого електродом діаметром 4 мм, при цьому використовуть системи, які базуються на показниках межі текучості або міцності ударної в'язкості.

Так система А передбачає показник межа текучості при ударній в'язкості 47 Дж, а система В показник межа міцності при ударній в'язкості 27 Дж.

Класифікація відповідно до системи А базується головним чином на стандарті EN 499:1994, а класифікація відповідно до системи В базується головним чином на стандартах, якими користуються країни південної Азії та Тихоокеанського регіону.

Умовне позначення електрода за системою А складається з таких символів.

1. Символ ручного дугового зварювання – Е, стоїть на початку марки електрода.

2. Цифра коду Е35 – Е50 символи міцності: межа текучості $\sigma_{m\,min}$ МПа, межа міцності $\sigma_в$ МПа, відносне подовження δ_{min} %.

3. Символ ударної в'язкості KCV 47 Дж, що забезпечується при температурах від +20°С до -60°С.

4. Символ хімічного складу металу шва – вміст легуючих елементів.

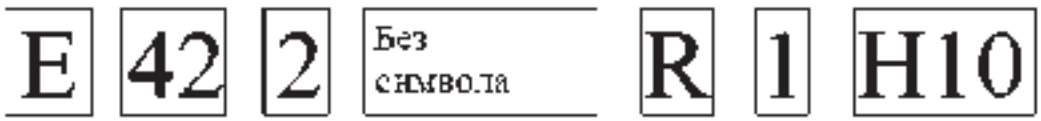
5. Символ типу електродного покриття.

6. Символ просторового положення зварювання.

7. Символ вмісту дифузійного водню в металі шва, $см^3/100$ г.

Приклад такого позначення наведений на мал. 6.10.

Таким же чином можна позначити і вітчизняну марку електрода АНО – 6:



На такому ж принципі побудовані позначення на інші електроди, наприклад ДСТУ EN ISO 18275:2014 Матеріали зварювальні. Електроди покриті для ручного дугового зварювання високоміцних сталей

Вибір необхідного типу і марки електродів пов'язаний з багатьма міркуваннями: ступінь відповідальності призначення конструкції, місце виконання зварювальних робіт (в цеху чи в умовах монтажу), товщина

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

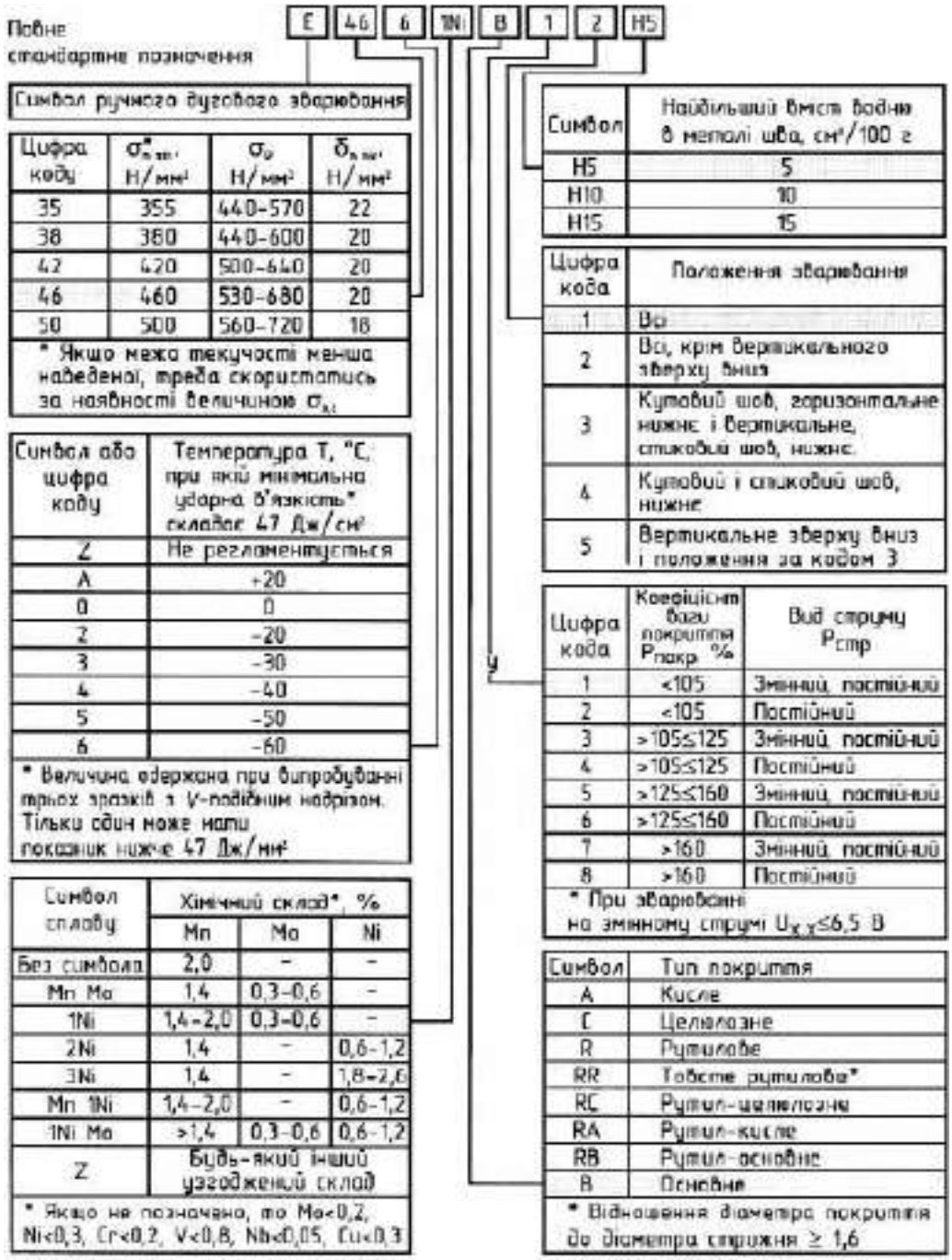


Рис. 6.10. **Умовне позначення покритих електродів марки TENACITO 38 R для ручного дугового зварювання конструкційних нелегованих сталей і термічно поліпшених сталей з мілкозернистою структурою (згідно з ДСТУ EN 2560:2014)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

металу, що зварюється, продуктивність тощо. Електроди з кислим покриттям (рутилові й целюлозні) мають такі переваги:

1) можливе зварювання погано підігнаних і зачищених від іржі та бруду кромок;

2) зварювання можна виконувати на будь-якому струмі будь-якої полярності;

3) електроди мають достатньо високу продуктивність і потребують низькотемпературного прогартування перед зварюванням (100–180°С протягом 1–2 год).

Їх недоліки такі:

1) наплавлений метал відрізняється підвищеною газонасиченістю та схильністю до старіння, тому його пластичні, особливо динамічні характеристики, з часом зменшуються майже вдвічі;

2) електроди спричиняють підвищене розбризкування.

Перевагою целюлозних електродів порівняно з рутиловими є ще більша здатність перекривати великі зазори, а недоліком – ще більше розбризкування. Тому вони не можуть використовуватися при виготовленні конструкцій, які не входять до переліку Держнаглядохоронпраці.

Переваги електродів з основним покриттям пов'язані з властивостями шлакової системи. Вона забезпечує одержання металу шва, ненасиченого газами, який не схильний до старіння. Шлак має рафінуючі властивості, (зменшує кількість шкідливих домішок – сірки та фосфору) та нейтральний відносно легуючих елементів (забезпечує їх збереження у процесі зварювання).

Недоліки вказаних електродів:

1) потреба у ретельній підготовці кромок до зварювання; зачищення до металевого блиску; мінімальні зазори;

2) зварювання слід виконувати дуже короткою дугою (у протилежному випадку важко уникнути пороутворення та вигоряння легуючих елементів) лише при постійному струмі і зворотній полярності;

3) електроди мають невисоку продуктивність і потребують високотемпературного прогартовування (200–400°С протягом 1–2 год);

4) проте електроди з основним покриттям використовуються для виготовлення металоконструкцій особливо відповідального призначення, а також (за рідкісним винятком) для зварювання та наплавлення всіх легованих сталей і сплавів.

Важливим показником якості електродів є їх сертифікація та схвалення різними класифікаційними товариствами, наприклад, морським Регістром Російської Федерації (MRS), німецьким Ллойдом (GL), британським Ллойдом (LRS), французьким бюро Верітас (BV), норвезьким бюро Верітас (DNV) і таких незалежних організацій, як Товариство технічного нагляду (TÜV) в Німеччині, Держнаглядохоронпраці України (ДНАОП) в Україні і т. д. Цю важливу обставину слід ураховувати в разі виготовлення зварної металоконструкції на експорт.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Такі характеристики електродів, як продуктивність, режим прогартовування та витрати на 1 кг наплавленого металу завжди позначені на етикетці з паспортними даними на конкретну марку електрода. Для орієнтовних розрахунків слід мати на увазі: коефіцієнт наплавлення у електродів для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей знаходиться у межах 8–10 г/(А · год), для високолегованих сталей – 10–16 г/(А · год), коефіцієнт витрат для всіх марок і типів електродів – у межах 1,4–1,8.

В умовах, коли зварювання металоконструкцій виконується на відкритому повітрі при мінусових температурах, треба керуватись рекомендаціями щодо необхідності підігрівання.

Вуглецеві сталі застосовують для виготовлення гратових і листових конструкцій ручним дуговим і напівавтоматичним зварюванням. У міру зростання товщини металу з 16 до 40 мм і більше підігрівання не потрібне при робочих температурах від -30°С до 0°С відповідно. Для конструкцій, виготовлених з низьколегованих сталей тих же товщин, температурний інтервал зміщується у бік плюсових температур, від -20°С до +10°С.

При автоматичному дуговому зварюванні конструкцій з тих же сталей температурний інтервал зміщується у бік мінусових температур (від -30°С до -10°С). Якщо робоча температура нижче вказаної, пришовну зону потрібно підігрівати до 120–160°С.

Електрошлакове зварювання цих сталей не потребує підігрівання незалежно від температури повітря.

Низьковуглецеві сталі мають хорошу зварюваність. Більшість металоконструкцій виготовляють із сталі Ст3, вміст вуглецю в якій не перевищує 0,23 %. Вона найкраще зварюється. Зварювання цієї сталі проводиться електродами типу Э42, якщо йдеться про вироби звичайного призначення. При виготовленні конструкцій особливо відповідального призначення, що підвідомчі Держнаглядохоронпраці України, треба використовувати електроди типу Э42А, які забезпечують менший вміст шкідливих домішок сірки і фосфору в наплавленому металі, внаслідок чого шовний метал має вищі пластичні і динамічні характеристики.

Низьколеговані сталі, наприклад 09Г2, 10ХСНД, теж мають хорошу зварюваність, але вони більш чутливі до концентраторів напружень і схильні до підгартовування на початку зварювання товстолистового металу. Для їх зварювання застосовують електроди типу Э42А.

Середньовуглецеві і середньолеговані сталі належать до групи сталей з поганою зварюваністю. Тому для запобігання гарячим тріщинам треба вибирати марки сталей з мінімальним вмістом вуглецю і легуючих елементів. Для подолання схильності до утворення холодних тріщин треба вести зварювання з попереднім підігріванням на оптимальній величині погонної енергії:

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

$$q_{\text{пог}} = Q_{\text{еф}}/V_{\text{зв}},$$

де $Q_{\text{еф}}$ – ефективна теплова потужність, Дж; $V_{\text{зв}}$ – швидкість зварювання, м/год.

Так, для товщини металу 20 мм величина погонної енергії без підігрівання має становити 23–38 кДж/см, при підігріванні до 100°С – від 19 до 30 кДж/см, до 150°С – від 13,5 до 24 кДж/см.

Для забезпечення рівноміцності зварного шва, пришовної зони і всього зварного з'єднання середньовуглецеві сталі зварюють, наприклад, покритими електродами, що легують метал шва елементами, які покращують прогартовуваність, – кремнієм, марганцем і хромом. Після зварювання виробів із цих сталей виконується повна термічна обробка – гартування і відпуск.

Теплостійкі сталі навіть при плюсових температурах потребують попереднього і супутнього підігрівання, а середньолеговані – лише попереднього. Температури попереднього і супутнього підігрівання при ручному дуговому зварюванні теплостійких сталей, а також попереднього підігрівання при зварюванні середньолегованих високоміцних сталей під флюсом відповідно такі: 150–250°С – сталі 20ХГС, 25ХГСА; 220–270°С – 12ХМ, 15ХМ; 150–250°С – 12Х2НВФА; 200–300°С – 23Х2МВФА; 250–300°С – 30ХГСНА, 30ХГСА; 270–320°С – 20ХМ, 12ХМФ; 320–400°С – 20ХМФ, 15Х1М1Ф, 34ХМ; 400–500°С – 15Х2М2ФБС, 15ХМФКР.

Найчастіше зварники мають справу з трубними конструкціями, виготовленими із теплостійких сталей.

Для прихватки і зварювання вироби з цих сталей попередньо підігріваються. При зварюванні теплостійких сталей типу 15Х1МФ, 20ХМФЛ і подібних до них товщиною більше 10 мм згідно з РТМ-1С-89 потрібно забезпечити температуру підігрівання при прихватці стику на рівні 200–300°С, а при зварюванні – в межах 250–350°С.

Високоміцні сталі зварюють за двома принципово різними технологіями. Перша передбачає ведення зварювання сталі з попереднім, а іноді і з супутнім, підігріванням з використанням близького за складом присадного матеріалу, після чого має проводитись повний цикл термообробки, тобто досягається найкраще поєднання міцності і пластичності зварного з'єднання.

За другою технологією процес зварювання виконують без попереднього підігрівання з використанням присадного матеріалу аустенітного типу. Міцність зварного з'єднання визначається міцнісними показниками металу шва.

6.2.4. Зварювання високолегованих сталей

Високолеговані сталі і сплави складають найбільш численну групу конструкційних матеріалів. Для вибору оптимальної технології їх зва-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

рювання і термічної обробки потрібно вміти визначати, до якого структурного класу сталі і сплави належать.

Сталі аустенітного класу можна поділити на 2 групи: сталі типу 18-8 (Х18Н9Т, Х18Н11Б, Х18Н12М2Т тощо) і типу 25-20 (Х25Н20С2, Х23Н18 тощо). Перші – нержавіючі й жароміцні, зберігають свої властивості до 700–750°С. Другі – окалиностійкі й жароміцні, можуть працювати в агресивному газовому середовищі до 1100–1150°С.

Основними недоліками зварювання аустенітних сталей є низька стійкість металу шва до виникнення кристалізаційних тріщин і крихкість металу шва в процесі експлуатації. Утворення кристалізаційних тріщин зумовлене теплофізичними властивостями (низька теплопровідність і високий коефіцієнт лінійного розширення призводять до появи напружень і їх нерівномірного розподілу).

Наявності евтектичної складової, що розташовується на границях стовпчастих кристалів, наприклад, Ni_3S_2 + Ni з температурою плавлення 645°С можна уникнути, вводячи другу фазу – ферит, який виділяється в процесі кристалізації. Ферит «лікує» тріщини, заповнюючи їх. Використовують електроди, які забезпечують вміст у металі шва 2–4 % фериту, що веде до покращення структури. З цією ж метою вводять модифікатори – РЗМ, знижують вміст шкідливих домішок, а також використовують інші спеціальні технологічні засоби (сприятлива форма зварювальної ванни, відсутність глибоких розчищень, багатошарове зварювання).

Загальна корозійна стійкість забезпечується наявністю в зварному шві більше 13 % хрому. Локальна корозійна стійкість може бути погіршена внаслідок тривалого перебування металу шва в інтервалі температури 450–850°С, що є характерним для багатошарового зварювання і зварювання пересічних швів. За таких умов по границях аустенітних зерен випадають комплексні карбіди заліза і хрому, що зменшує до 12 % вміст хрому на границях аустенітних зерен. Утворені карбіди некогерентно зв'язані з основою, що призводить до появи напружень. Границі зерен розчиняються під дією агресивного середовища, утворюються мікротріщини, які під дією навантаження переходять у макротріщини, внаслідок чого виникає аварійне руйнування металоконструкцій. Запобігти цьому можна, використовуючи присадний метал з низьким (0,02–0,03 %) вмістом вуглецю. За таких умов карбіди не утворюються, крім того гомогенний твердий розчин гартують (нагрівання до 1050°С, витримка, охолодження на повітрі), при цьому карбіди хрому розпадаються, а вуглець і хром переходять у твердий розчин. Також використовують електроди, до складу яких входять ніобій і титан, які мають більшу спорідненість з вуглецем, ніж хром, тому карбіди останнього не утворюються.

Крихкість металу шва в процесі експлуатації зумовлена утворенням α-фази інтерметалідного походження, а також випаданням дрібнодисперсних карбідів в інтервалі температур 650–900°С. Методом усунення

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

цього недоліку є нагрівання до 1000–1150°С, витримка 1 год і швидке охолодження, внаслідок чого α-фаза розчиняється в аустеніті і в подальшому вже не утворюється.

Сталі феритного класу містять більше 17 % Cr і до 0,15 % С, мають високу корозійну стійкість і жаростійкість до 1000–1100°С. Недоліками їх зварювання є збільшення розмірів зерна, крихкість і міжкристалева корозія. Для одержання якісних швів зварювання виконують на малій погонній енергії, використовують модифікатори РЗМ для подрібнення зерна, зменшують вміст вуглецю у шві. Методи боротьби з міжкристалевою корозією такі ж, як і при зварюванні аустенітних сталей.

Сталі мартенситного класу (2Х13, 1Х17Н2 тощо) мають високу жароміцність і корозійну стійкість при температурах до 550°С.

Метал шва являє собою легований мартенсит (називають голчатим феритом), внаслідок чого збільшується твердість і крихкість, а ударна в'язкість знижується. У разі потреби одержання однорідних властивостей металу шва і основного металу застосовують електроди, близькі за складом до основного металу, попереднє підігрівання вище 250°С і подальшу термообробку: нагрівання до 900°С, повільне охолодження до 600°С, після чого охолодження на спокійному повітрі. Інколи можна обмежитися високим відпуском (680–720°С).

При зварюванні різнорідних сталей і сплавів, окрім загальних положень зварюваності, треба враховувати додаткові фактори:

- зміну складу шва в ділянках, що прилягають до металу іншого легування, ніж наплавлений метал;
- наявність у зоні сплавлення маломіцних і крихких кристалізаційних і дифузійних прошарків змінного складу;
- наявність залишкових напружень у з'єднаннях різних структурних класів, які неможливо зняти термічною обробкою.

Вплив факторів, що сприяють хімічній, структурній і механічній неоднорідності зварних з'єднань, можна регулювати хімічним складом електродних матеріалів, маючи на увазі, що з підвищенням ступеня аустенітності електродних матеріалів легше одержати якісне зварне з'єднання.

Різнорідні високохромисті мартенситні, феритні і мартенситно-феритні сталі успішно зварюються вручну з використанням електродів типу Э-10Х25Н13Г2, під флюсами марок АН-26, АН-17 з дротами Св-07Х25Н13, Св-08Х20Н9Г7Т, а в захисних газах – з дротами Св-0Х14ГТ. При цьому мартенситні сталі завтовшки до 10 мм при нежорсткому закріпленні можна зварювати без підігрівання, а в інших випадках потрібне попереднє підігрівання до 250–300°С і відпуск при 700–750°С зразу після зварювання.

Різнорідні хромонікелеві аустенітні сталі марок 08Х10Н20Г2, 08Х18Н10, 08Х18Н12Б, аустенітно-феритні 12Х21Н5Т, 08Х18Г8Н2Т і аустенітно-мартенситні 20Х13Н4Г9, 09Х17Н7Ю зварюються вручну з ви-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

користанням електродів типу Э-04Х20Н9, Э-10Х25Н13Г2, під флюсами АН-26, АН-18 дротом Св-04Х19Н9, Св-07Х25Н13, в захисних газах – дротами Св-04Х19Н9С2, Св-Х20Н9Г7Т.

Вуглецеві сталі з середньолегованими зварюються вручну електродами типу Э-09Х1М, Э-09Х1МФ, під флюсом АН-22 дротом Св-08ХМ, в захисних газах – дротом Св-08ГСМА.

6.2.5. Зварювання чавуну

Якщо гаряче зварювання неможливе, а невеликі дефекти підлягають ремонту, використовують принципово відмінну технологію – холодне зварювання.

Підвищення якості з'єднань досягають одержанням феритно-перлітної структури шляхом зв'язування надлишкового вуглецю в дисперсні карбіди, їх рівномірного розподілу, утворення у шві сплавів заліза з кольоровими високопластичними металами – міддю, нікелем.

За технологією холодного зварювання процес відбувається поступово, на невеликих ділянках завдовжки 30–50 мм, з малою погонною енергією, нитковими швами, врозкид, з охолодженням кожного валика до температури 70–100°С, іноді з проковуванням гарячого металу. В цьому випадку метал шва відрізняється від чавуну, а якість ремонтних робіт значною мірою залежить від використаних електродних матеріалів. Наплавлений цими електродами і дротами метал має основу сталі або кольорового металу, задовільно обробляється звичайним різальним інструментом, що є однією з вимог до його якості.

6.2.6. Зварювання кольорових металів

Мідь товщиною до 4 мм зварюють без розчищення, до 10 мм з V-подібним розчищенням, кутом 60–70° і притупленням 1–3 мм. Для більших товщин рекомендується двобічне Х-подібне розчищення. Використовують електроди марок «Комсомолець-100» зі стрижнем із міді М1 або ЗТ з бронзовим стрижнем КМц 3-1.

Зварювання проводиться короткою дугою із зворотно-поступальним рухом електрода, в нижньому положенні на підйом. При використанні електродів «Комсомолець-100» досягається рівноміцність основного металу і шва. Електроди марки ЗТ забезпечують лише 80 % міцності шва і гіршу електропровідність, ніж чиста мідь.

Розроблені в ІЕЗ ім. Е. О. Патона електроди марки АНЦ-1 завдяки екзотермічним компонентам у покритті забезпечують можливість зварювання металу товщиною до 15 мм без підігрівання.

При зварюванні бронз як стрижні застосовують дроти або такого ж складу заготовки діаметром 5–8 мм, на які наносяться покриття основного типу, що не дуже зручно в разі потреби виконання тонких робіт. У Запорізькому національному технічному університеті розроблена технологія виготовлення спеціального композитного дроту для зварювання

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

або наплавлення алюмінієвої бронзи будь-якого складу, яка базується на сумісному волочінні мідної стрічки й алюмінієвого, залізного, нікелевого або манганінового дроту певних розмірів, що дає змогу одержати кінцевий дріт діаметром 2–5 мм і використовувати його або у вигляді стрижнів зі спеціальним покриттям (електроди марки ЗМ1-1), або у вигляді дроту для механізованого зварювання у середовищі аргону.

Нікель зварюють на постійному струмі зворотної полярності без підігрівання до товщини 15 мм. При більших товщинах метал попередньо підігрівають до 200–250°С. Нікель завтовшки 4–12 мм потребує V-подібного розчищення, а 12–20 мм – Х-подібного.

Для зварювання використовують електроди «Прогрес-50» або ОЗЛ-32 зі стрижнем із нікелю Н-1 і НП-2. Зварювання виконують з поздовжніми незначними коливаннями електрода для кращого газовилучення на графітових підкладках. Метал зварного шва за своїми властивостями не відрізняється від основного.

Зварювання технічного алюмінію і його сплавів типу АМг і АМц покритими електродами виконують при виготовленні малонавантажених конструкцій, а також при заварюванні дефектів литва з силуміну. Метал завтовшки до 20 мм не потребує розчищення кромок. Стики збираються з зазором 0,5–1 мм, для більших товщин рекомендується V-подібне розчищення під кутом 70–90°, притуплення 3–5 мм і зазор 1,5–2 мм. Зварювання виконують на сталевих підкладках з використанням електродів марок ОЗА-1 (для алюмінію і сплавів АМг і АМц) і ОЗА-2 (для силумінового литва).

До складу покриття електродів входять фтористі і хлористі солі лужноземельних металів, які під дією постійного струму зворотної полярності руйнують оксидну плівку Al_2O_3 і переводять її в легкоплавкий шлак. Оскільки алюмінієвий електрод розплавляється в 2–3 рази швидше сталевого, швидкість зварювання має бути також збільшена. При обривах дуги кратер шва покривається шлаком, як і торець електрода, що утруднює повторне запалювання дуги, тому зварювання треба вести безперервно електродом до кінця.

Прихватку кромок виконують з попереднім підігріванням до 200–250°С, а при зварюванні температуру треба підвищити до 300–400°.

6.3. ОБЛАДНАННЯ ТА ЙОГО ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Існує єдина система позначення типів електрозварювального обладнання, що випускають підприємства електротехнічної промисловості. Умовне позначення, наприклад, джерела ВДГМ-1602УЗ розшифровують так: В – випрямляч; Д – для дугового зварювання; Г – у захисних газах; М – багатопостовий; 16 – з номінальним струмом 1600 А; 02 – друга модифікація; У – для країн з помірним кліматом; 3 – для роботи у закритих приміщеннях,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таким чином, умовне позначення містить елементи класифікації джерел. Джерела можна класифікувати:

1) *за родом струму і типами:* змінного – трансформатори (Т); постійного струму – випрямлячі (В), генератори (Г), перетворювачі (П); агрегати (А); установки (У);

2) *за видом зварювання:* для дугового (Д) або плазмового (П) зварювання;

3) *за способом зварювання:* для ручного зварювання; зварювання під флюсом; у захисних газах (Г); універсальні (У);

4) *за кількістю постів, що обслуговуються:* багатопостові (М) і однопостові;

5) *за номінальним струмом:* на 125, 160, 200, 250, 310, 400, 500, 630, 1000, 1250, 1600, 2000, 2400, 3150, 5000 А;

6) *за кліматичним виконанням:* для країн з помірним (У) або тропічним (Т) кліматом;

7) *за категорією розміщення:* для роботи на відкритому повітрі (1); у приміщеннях, де коливання температури та вологості незначно відрізняються від коливань на відкритому повітрі (2); у закритих приміщеннях, де коливання температури та вологості і вплив піску й пилу набагато менші, ніж на відкритому повітрі (3); у приміщеннях зі штучним регулюванням кліматичних умов (4); у приміщеннях із підвищеною вологістю (5).

Конструкція та принцип дії джерела залежать від призначення. Зокрема, вище було показано, що для різних видів та способів зварювання потрібні джерела з різними типами зовнішньої характеристики. У виробничих умовах часто виникає потреба на одному місці виконувати і ручне зварювання покритими електродами, і напівавтоматичне у вуглекислому газі. У такому разі застосовують універсальні джерела, тип їх зовнішньої характеристики змінюють нескладним настроюванням. *У цехах з великою кількістю постів зварювання економічніші багатопостові джерела.*

Обираючи джерела, керуються їх основними параметрами, головним з них є номінальний струм. Джерела для ручного зварювання розраховані на струм від 125 до 500 А, для напівавтоматичного – на струм від 200 до 1000 А, для автоматичного – від 500 до 2000 А, багатопостові джерела – на номінальний струм від 1000 до 5000 А.

До основних параметрів належить номінальна робоча напруга. Наприклад, однопостові джерела зі спадною характеристикою, призначені для ручного зварювання, мають номінальну напругу від 25 до 40 В. Слід звернути також увагу на межі регулювання робочої напруги.

Важливою характеристикою є напруга неробочого ходу в джерелах для ручного зварювання ($U_{НХ}$ = 60...80 В).

Джерела працюють в одному з таких режимів: переміжному, повторно-короткочасному та тривалому. У переміжному режимі робота з наван-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

таженням протягом часу $t_н$ чергується з неробочим ходом протягом $t_{нх}$, коли джерело не вимикається з мережі. Такий режим характеризується відносною тривалістю навантаження, %:

$$ТН = 100 \frac{t_н}{t_н + t_{нх}}.$$

Тривалість навантаження джерел для ручного зварювання номінальна – 60 %.

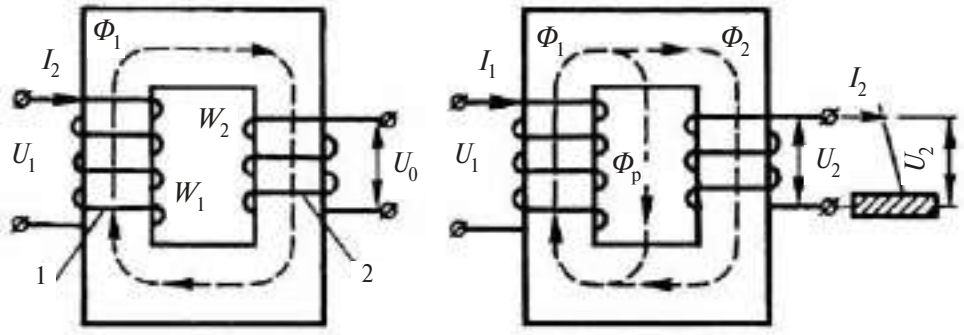
У повторно-короткочасному режимі робота з навантаженням чергується з періодичними вимкненнями джерела з мережі на час t_0. Такий режим характеризується відносною тривалістю вмикання, %:

$$ТВ = 100 \frac{t_н}{t_0 + t_н}.$$

У тривалому режимі (ТВ = 100 %) джерело живлення безперервно працює з навантаженням.

6.3.1. Джерела живлення змінного струму

Найпоширеніші при зварюванні джерела змінного струму – трансформатори. Ними користуються при ручному дуговому зварюванні, автоматичному зварюванні під флюсом. Вони прості у виготовленні та експлуатації, мають найвищий коефіцієнт корисної дії (до 90 %).



Мал. 6.11. **Схема роботи трансформатора:**
а – неробочий хід; *б* – з навантаженням

Дія трансформатора заснована на явищі електромагнітної індукції. Зварювальний трансформатор (мал. 6.11) має стрижневе осердя і змонтовані на ньому первинну 1 та вторинну 2 обмотки.

Режим неробочого ходу трансформатора (мал. 6.11, *а*) встановлюється при розімкненому колі вторинної обмотки в момент підключення

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

первинної обмотки до мережі змінного струму з напругою U_1. При цьому у первинній обмотці йде струм I_1, який створює в осерді змінний магнітний потік Φ_1. Потік наводить у вторинній обмотці змінну напругу U_2. Оскільки коло вторинної обмотки розімкнене, то струм по ньому не проходить і ніяких витрат енергії у вторинному колі немає. Тому вторинна напруга при неробочому ході максимальна, її називають *напругою неробочого ходу* U_0.

Відношення напруги на первинній обмотці до напруги на вторинній при неробочому ході називають коефіцієнтом трансформації K. Він дорівнює відношенню числа витків первинної обмотки W_1 до числа витків вторинної W_2. У зварювальних трансформаторах напруга мережі 220 або 380 В перетворюється у нижчу напругу – 60–90 В. Такі трансформатори називають *знижувальними*.

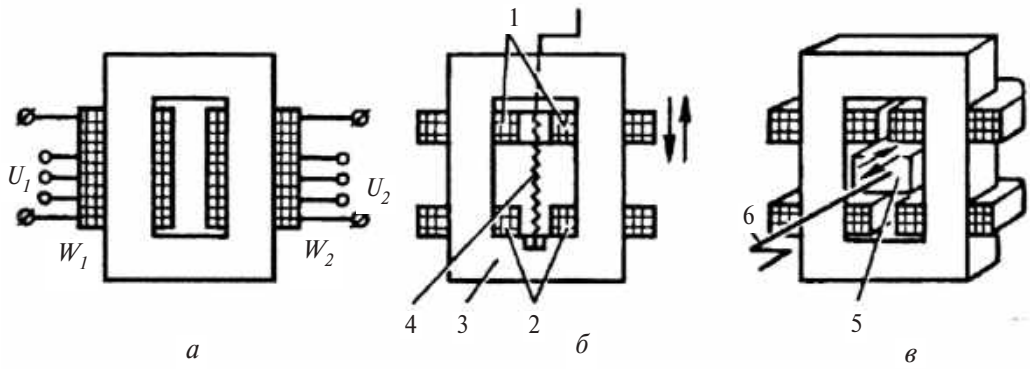
Режим навантаження (мал. 6.11, *б*) встановлюється при замкненні кола вторинної обмотки під час запалювання дуги. При цьому під дією напруги U_2 у вторинній обмотці та дузі з'являється струм I_2. Цей струм створює в осерді свій змінний магнітний потік, який прагне зменшити величину потоку, створюваного первинною обмоткою. Внаслідок протидії цьому збільшується сила струму в первинній обмотці. Таке збільшення відбувається відповідно до закону збереження енергії: споживання енергії з мережі первинної обмотки має дорівнювати віддачі енергії дузі з боку вторинної обмотки, тобто, знижуючи за допомогою трансформатора напругу в K разів, у стільки ж разів збільшують струм у вторинному колі. Тому в зварювальних трансформаторах вторинний струм у 3–6 разів більший, ніж первинний.

Завдяки великому розсіюванню магнітного потоку зовнішня характеристика зварювального трансформатора спадна. Щоб вона була такою, первинну та вторинну обмотки розташовують на значній відстані одна від іншої, наприклад, на різних стрижнях. При навантаженні (мал. 6.11, *б*) частина потоку трансформатора замикається по повітрю, створюючи потік розсіювання $\Phi_р$. Тому потік Φ_2, який проходить через вторинну обмотку, при навантаженні менший, ніж потік Φ_1, що проходить через первинну обмотку. Відповідно й напруга U_2, наведена потоком Φ_2 у вторинній обмотці, спадає порівняно з величиною U_0, яка наводиться при неробочому ході потоком Φ_1, на деяку величину $E_р$. Її називають *електрорушійною силою розсіювання (ЕРС)*. Таким чином, вторинна напруга трансформатора знижується через втрати на внутрішньому опорі. Його називають *індуктивним опором трансформатора* X. Із зростанням струму вторинної обмотки збільшується потік та ЕРС розсіювання. Тому із зростанням навантаження напруга на виході трансформатора U_2 зменшується, тобто у цьому випадку зовнішня характеристика такого транс-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

форматора є спадною. Крутість нахилу зовнішньої характеристики тим більша, чим більший індуктивний опір трансформатора.

Регулювати струм можна, змінюючи як напругу неробочого ходу, так і опір трансформатора (мал. 6.12).



Мал. 6.12. **Регулювання струму зварювальних трансформаторів**

Напруга неробочого ходу трансформатора $U_0 = U_1 W_2 / W_1$. Якщо дугу підключити до крайніх контактів вторинної обмотки (мал. 6.12, *а*), то число витків W_2, що беруть участь у роботі, збільшиться. Збільшиться й напруга неробочого ходу, а тому й зварювальний струм. Очевидно, що із зростанням числа витків первинної обмотки W_1 струм зменшиться.

Секційовані обмотки дають можливість регулювати струм лише ступінчасто, тобто порівняно грубо. Тому цей спосіб регулювання часто доповнюють ще плавним регулюванням зміною опору трансформатора.

Плавне регулювання струму (мал. 6.12, *б*) здійснюється, наприклад, пересуванням по осердю 3 рухомих обмоток 1 за допомогою гвинтового механізму 4. Якщо збільшити відстань між первинною 1 та вторинною 2 обмотками, то зростуть потік розсіювання й ЕРС розсіювання, отже, збільшаться втрати енергії всередині трансформатора, а це приводить до зменшення струму, тобто збільшення відстані між обмотками спричинює збільшення індуктивного опору трансформатора. Так само введення магнітного шунта 5 (мал. 6.12, *в*) між обмотками зменшить магнітний опір на шляху потоку розсіювання, сам потік зросте, а струм зменшиться. Змінюючи положення шунта регулятором 6, плавно регулюють зварювальний струм. З цією ж метою можна використовувати і нерухомий магнітний шунт, що підмагнічується за допомогою обмотки керування постійного струму. Якщо струм в обмотці керування збільшити, то внаслідок насичення заліза шунта його магнітний опір зросте. При збільшенні магнітного опору на шляху потоку розсіювання потік зменшиться, наслідком чого стане збільшення зварювального струму.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Крім того, опір трансформатора можна регулювати ступінчасто, змінюючи способи з'єднання обмоток. Найчастіше трансформатор має дві вторинні обмотки. Припустимо, що при використанні лише однієї первинної та однієї вторинної обмотки опір трансформатора X_T дорівнює X. Тоді при послідовному з'єднанні двох первинних обмоток і послідовному з'єднанні двох вторинних загальний опір трансформатора збільшується до $X_т = 2X$. При паралельному з'єднанні первинних і паралельному з'єднанні вторинних обмоток загальний опір знижується до $X_T = 2X$. Таким чином, змінюючи з'єднання обмоток, можна отримати три рівні грубого регулювання, що забезпечує чотирикратну зміну струму і розширює діапазон регулювання.

Для ручного зварювання найчастіше використовують трансформатори з рухомими котками (котушками) типу ТД і ТДМ. Для виконання зварювальних робіт у монтажних умовах випускають переносні трансформатори з рухомими котушками й шунтами, а також трансформатори, які регулюються намотуванням зварювального кабелю (ТДК-315У2) та ін.

6.3.2. Джерела живлення постійного струму

Постійний струм має деякі технологічні переваги: він забезпечує більш високу стійкість дуги порівняно з дугою змінного струму. У тих випадках, коли стійкість помітно впливає на якість зварювання або на саму його можливість (зварювання на малих струмах, зварювання електродами зі слабко стабілізуючим фтористо-кальцієвим покриттям, напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі), доцільно використовувати джерела постійного струму. З них найбільш досконалими є випрямлячі. Як джерела постійного струму використовують також зварювальні генератори, перетворювачі та агрегати. Агрегатами користуються, головним чином, при ручному зварюванні в монтажних і польових умовах. Порівняно з випрямлячами вони менш економічні й надійні, проте забезпечують можливість живлення за відсутності електричної мережі.

Зварювальні випрямлячі є статичними перетворювачами змінного струму у випрямлений, який використовується в процесі зварювання.

Зварювальні випрямлячі мають значні переваги порівняно зі зварювальними генераторами. Вони забезпечують високий ККД та менші втрати неробочого ходу, менші масу та габарити, відсутність вузлів, що обертаються, та безшумність у роботі.

Випрямлячі існують одно- та багатопостові.

Зварювальний випрямляч складається з таких основних елементів: трансформатора, регулюючого пристрою та напівпровідникових вентилів. Часто до комплекту випрямляча входить дросель, який включають у коло постійного струму для згладжування пульсацій та зменшення розбризкування електродного металу.

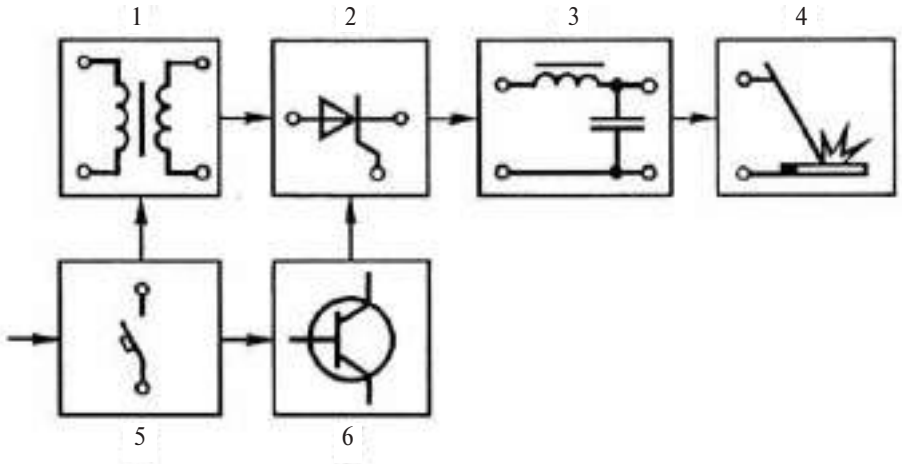
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Випрямлячі класифікують за такими ознаками: число фаз живлення (однофазні та трифазні); схема випрямлення; тип вентилів (з діодами або тиристорами); спосіб регулювання струмом або напругою.

За призначенням однопостові випрямлячі можуть бути: зі спадними зовнішніми характеристиками для ручного зварювання та механізованого зварювання під флюсом; з похилоспадними зовнішніми характеристиками для механізованого зварювання у вуглекислому газі; з крутоспадними та похилоспадними характеристиками (їх називають універсальними) для всіх видів дугового зварювання.

Багатопостові випрямлячі також випускають для ручного зварювання та зварювання під флюсом, для зварювання в захисних газах та універсальні.

Випрямляч – це пристрій, призначений для перетворення змінного струму в постійний. Основні елементи випрямляча (мал. 6.13): силовий трансформатор 1 для зниження сіткової напруги до потрібної при зварюванні; блок вентилів 2 випрямляє змінний струм; стабілізуючий дросель 3 – зменшує пульсації випрямленого струму дуги 4. Якщо випрямляч керований, то до схеми входить додатковий вузол 5, який містить систему керування вентилями. Для захисту випрямляча від пошкоджень в аварійних режимах у його системі передбачено блок 6 захисту та сигналізації. Основний вузол випрямляча – випрямний блок – є набором вентилів, увімкнених за певною схемою. Як силові вентилі застосовуються напівпровідникові діоди та кремнієві керовані вентилі-тиристори.



Мал. 6.13. **Схема випрямляча**

Випрямлячі розрізняють за способом регулювання сили струму або напруги та за конструктивним виконанням.

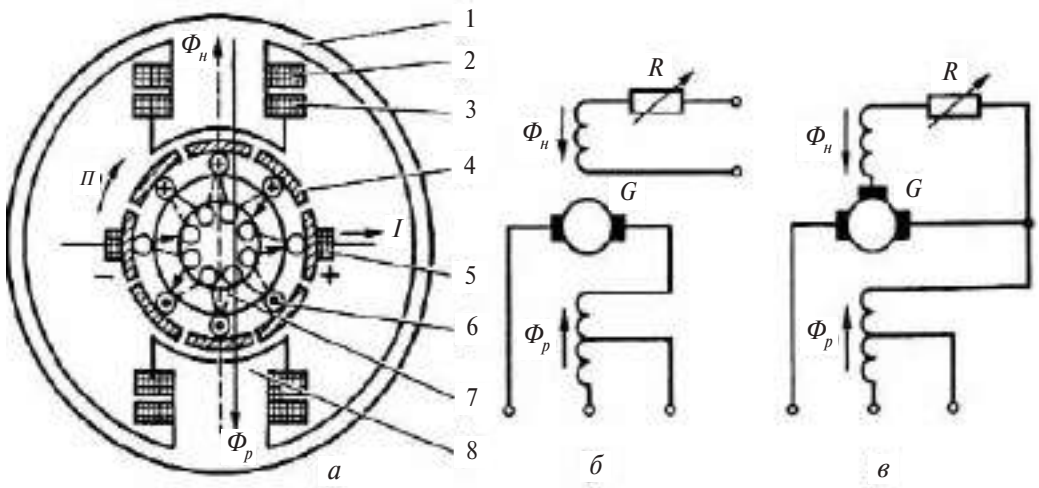
Для ручного зварювання найбільше застосовуються випрямлячі з механічним регулюванням, силовий трансформатор яких виконаний за схемою

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

з рухомими котками (типу ВД). Для механізованого зварювання у вуглекислому газі випускають випрямлячі, які регулюються зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатора (типу ВС), методом магнітної комутації (типу ВСЖ), а також за допомогою дроселя насичення (типу ВДГ) або тиристорами. Універсальні випрямлячі мають тиристорне регулювання.

Універсальні випрямлячі забезпечують стійке горіння дуги як при ручному, так і механізованому зварюванні завдяки тому, що мають дві зовнішні характеристики – спадну і жорстку з невеликим нахилом. Це дуже зручно, бо на одному і тому ж зварювальному посту можна виконувати ручне дугове зварювання і механізоване напівавтоматичне в середовищі CO_2 або порошковим самозахисним дротом.

Живлення зварювальної дуги постійним струмом можна здійснювати від спеціальних перетворювачів, які складаються з колекторного генератора, осьового вентилятора та асинхронного короткозамкненого двигуна, виконаних в одному корпусі на колесах. Обертачами для генераторів можуть бути також бензинові або дизельні двигуни. Схематично роботу колекторного зварювального генератора показано на мал. 6.14. Тут електрорушійна сила (ЕРС) наводиться в обмотці 6, намотаній на сталевий циліндр – якір 7. Для зменшення пульсацій струму число витків обмотки призначають достатньо великим, відповідно зростає й кількість пластин колектора 4, до яких припаяні виводи витків обмотки. Частина магнітного потоку генератора створюється намагнічувальною обмоткою 2, намотаною на полюсі 8, яка живиться постійним струмом. Інша частина потоку створюється послідовною обмоткою 3, по якій іде такий самий струм, що й по навантаженню. Магнітний потік генератора проходить по полюсах та якорю і замикається по корпусу 1 генератора. Зварювальний струм знімається з колектора щітками 5.



Мал. 6.14. **Колекторний зварювальний генератор:**
а – будова; *б* – принципова схема генератора з незалежним збудженням; *в* – те саме, з паралельним збудженням

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Режим неробочого ходу генератора спостерігається при розімкнених вихідних клемах генератора. У генераторі з незалежним збудженням намагнічувальна обмотка живиться від стороннього джерела (мал. 6.14, *б*). У генераторі із самозбудженням вона одержує живлення від обмотки якоря паралельно навантаженню і називається паралельною обмоткою (мал. 6.14, *в*). При пропусканні струму по намагнічувальній обмотці створюється намагнічуючий потік $\Phi_н$. Цей потік пронизує обертову обмотку якоря та наводить в ній ЕРС, яка дорівнює напрузі неробочого ходу і пропорційна сталій C генератора;

$$U_о = C\Phi_н. \qquad (6.1)$$

Режим навантаження встановлюється при підключенні дуги до вихідних клем генератора. З'ясуємо, як саме у зварювальному генераторі формується спадна зовнішня характеристика. При навантаженні послідовною обмоткою проходить зварювальний струм $I_д$ і ця обмотка створює потік $\Phi_р$. У генераторах зі спадною зовнішньою характеристикою потік послідовної обмотки напрямлений протилежно потоку намагнічувальної обмотки, тобто є розмагнічуючим. Тому ЕРС, що наводиться в обмотці якоря й дорівнює на виході генератора $U_г$, пропорційна різниці потоків намагнічувальної та розмагнічувальної обмоток:

$$U_г = C(\Phi_н - \Phi_р) = U_о - C\Phi_р, \qquad (6.2)$$

тобто менша, ніж напруга неробочого ходу $U_г$.

Чим більший зварювальний струм $I_д$, тим більший потік $\Phi_р$ і менша напруга генератора $U_г$. Таким чином, рівняння спадної зовнішньої характеристики генератора має вигляд:

$$U_г = U_о - I_д R_е, \qquad (6.3)$$

де $R_е$ – опір, еквівалентний розмагнічуючій дії послідовної обмотки.

Способи регулювання струму можна розглянути, якщо, прийнявши напругу дуги $U_д$ за таку, що дорівнює напрузі генератора $U_г$, визначити силу струму з рівняння (6.3):

$$I_д = (U_о - U_д)/R_е. \qquad (6.4)$$

Грубе регулювання здійснюється зміною числа витків секційованої обмотки (мал. 6.14, *б, в*). Із зростанням числа витків послідовної обмотки підсилюється її розмагнічуюча дія, тобто зростає потік $\Phi_р$, що еквівалентно збільшенню опору $R_е$. При цьому струм зменшується.

Струм плавно регулюють реостатом R у колі намагнічувальної обмотки (мал. 6.14, *б, в*). Зі збільшенням струму намагнічувальної обмотки збільшується її потік $\Phi_н$, а тому й напруга неробочого ходу $U_о$. Як випливає з рівняння (6.4), це спричиняє зростання струму.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Генератор з жорсткою зовнішньою характеристикою також має намагнічувальну (незалежну або паралельну) та послідовну обмотки, але на відміну від раніше розглянутої конструкції послідовна обмотка тут увімкнута так, що є підмагнічувальною – напрям її потоку збігається з напрямом потоку намагнічувальної обмотки. Отже, сумарний потік зі зростанням струму дещо збільшується. Цей надлишок потоку використовується для компенсації спаду напруги всередині генератора, який зі зростанням струму збільшується. Тому на вихідних клемах генератора напруга підтримується постійною незалежно від струму навантаження, тобто зовнішня характеристика генератора виходить жорсткою. Робоча напруга генератора регулюється реостатом у колі намагнічувальної обмотки.

Приблизно таку ж будову мають і універсальні генератори. При включанні їхньої послідовної обмотки на розмагнічення зовнішні характеристики спадні, при включанні на підмагнічування – характеристики жорсткі.

Нині все більшого поширення набувають джерела живлення інверторного типу, принципом дії яких є трансформація мережевої напруги в зварювальну напругу, яка здійснюється при підвищеній частоті. Це дає змогу в 4–5 разів зменшити масу, в 7–8 разів – габаритні розміри апаратів, на 7–10 % збільшити ККД і значно підвищити зварювальні показники і динамічні властивості порівняно зі звичайними джерелами.

З урахуванням особливостей конструкційних матеріалів, специфіки способів і використання обладнання нижче наведено підсумкові відомості щодо можливостей їх зварювання.

Таблиця 6.2

Можливості використання ручного дугового способу для зварювання металів і сплавів

Метал	Спосіб зварювання					
	графітовим електродом			покритим електродом		
	Постійний струм полярності		Змінний струм	Постійний струм полярності		Змінний струм
	пряма	зворотна		пряма	зворотна	
Низьковуглецеві сталі для виготовлення конструкцій:						
невідповідального і звичайного призначення	+	–	±	+	+	+
особливо відповідального призначення	–	–	–	–	+	±
Середньовуглецеві низько- і середньолеговані сталі	–	–	–	–	+	±
Високолеговані сталі і сплави	–	–	–	–	+	±

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 6.2

Метал	Спосіб зварювання					
	графітовим електродом			покритим електродом		
	Постійний струм полярності		Змінний струм	Постійний струм полярності		Змінний струм
	прямої	зворотної		прямої	зворотної	
Чавуни	+	–	±	–	+	±
Мідь і її сплави	+	–	±	–	+	±
Нікель і його сплави	+	–	±	–	+	±
Свинець	+	–	–	–	–	–
Титан і його сплави	–	–	–	–	–	–
Алюміній і його сплави	±	–	±	–	+	–
Магній і його сплави	–	–	–	–	–	–

Примітка: «+» – зварювання доцільне; «±» – зварювання обмежене; «–» – зварювання недоцільне або відсутня надійна інформація.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть ручного дугового зварювання графітовим електродом? Назвіть параметри режиму, вкажіть переваги і недоліки цього зварювання.
2. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання сталей, чавуну і кольорових металів?
3. У чому полягає суть ручного дугового зварювання покритими електродами? Які переваги і недоліки методу?
4. Яка техніка зварювання застосовується для виконання одно- і багатопрохідних швів у всіх просторових положеннях?
5. Як визначається продуктивність дугового зварювання і які її показники для різних способів?
6. Що таке гравітаційне зварювання, як воно виконується і які має переваги?
7. Які компоненти входять до складу електродного покриття і яку роль вони відіграють при зварюванні?
8. Як умовно позначаються штучні електроди?
9. Що входить до поняття «тип електрода»?
10. Назвіть марки найпоширеніших електродів зварювання вуглецевих і легованих сталей.
11. Які переваги і недоліки мають електроди з кислим і основним покриттям, назвіть галузі їх використання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

12. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей.
13. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання середньо- і високолегованих сталей.
14. Як вибирають електроди для зварювання різнорідних сталей?
15. Яка технологія і матеріали застосовуються при холодному і гарячому зварюванні чавуну?
16. Які електродні матеріали і технологія використовуються для зварювання кольорових металів?
17. Опишіть принцип дії трансформатора.
18. Опишіть принцип дії джерел постійного струму.
19. Які переваги і недоліки має застосування змінного і постійного струму?
20. Які виробники сучасного зварювального обладнання Вам відомі?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

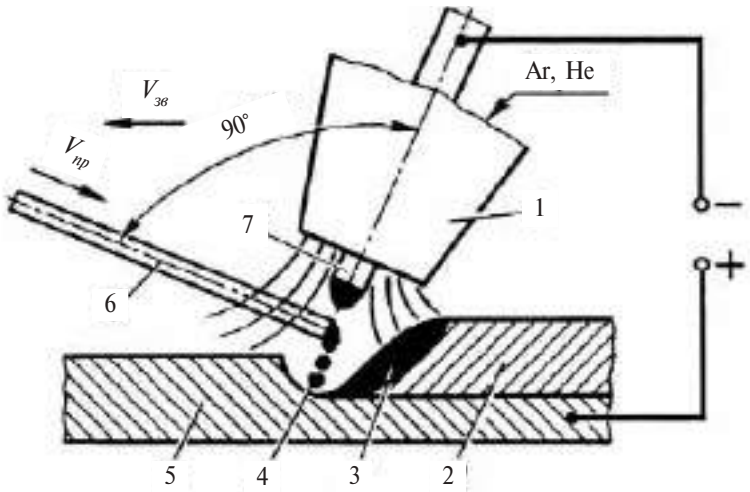
Розділ 7

ЗВАРЮВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

При зварюванні в захисних газах зона дуги і розплавленого металу захищається струменем газу, що подається за допомогою пальника, хоча іноді зварювання виконується в камерах з контрольованою атмосферою. Як захисні застосовують інертні гази (аргон, гелій і їх суміші), які не взаємодіють з металом при зварюванні і не розчиняються в ньому, й активні гази, які, навпаки, взаємодіють з металом, а також їх суміші.

7.1. ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ВОЛЬФРАМОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ (141, 142, 143)

Це різновид способу зварювання, винайденого М. Бенардосом: дуга горить між вольфрамовим електродом 7 і основним металом 5, причому дуга може живитися постійним струмом прямої полярності або змінним струмом (мал. 7.1).



Мал. 7.1. **Схема зварювання вольфрамовим електродом**

Інертний газ для захисту електрода і плавильного простору подається під тиском більшим, ніж атмосферний через сопло 1. Хоча електрод називаєтеся неплавким, насправді на його торці утворюється крапелька рідкого вольфраму, яка утримується там силами поверхневого натягнення, і в разі перевищення зварювального струму або попадання кисню у захисний струмінь вона може обриватися і, потрапляючи у зварювальну ванну, забруднювати її. Під дією тепла дуги розплавляється основний

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

метал 5 і присадний 6, краплі якого 4, змішуючись з основним, утворюють зварювальну ванну 3, яка після кристалізації перетворюється у зварний шов 2. Якість захисту залежить від кута між осями електрода і присадного прутка, який має бути близько 90°. При меншому куті порушується ламінарна течія газу із сопла, вона перетворюється на турбулентну, внаслідок чого виникають зони пониженого тиску, куди спрямовується повітря, погіршуючи якість. Для забезпечення рівномірної течії газу по всьому перерізу сопла мундштук «притоплюють» у пальнику, а внутрішню порожнину сопла виконують параболічною або конічною з циліндричною частиною на виході. Всередині порожнини встановлюють пристрої, які сприяють ламінарності витікаючого газового потоку. Це відбивачі, сітки, металокерамічні вставки і т. д.

Основними параметрами режиму є рід струму, його полярність, діаметр вольфрамового електрода, сила зварювального струму, напруга на дузі, діаметр присадного металу і витрати захисного газу.

Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності (більша стабільність горіння дуги і менші втрати електрода) і на змінному струмі при виготовленні конструкцій з алюмінієвих і магнієвих сплавів (у моменти зворотної полярності руйнується тугоплавка оксидна плівка).

Діаметр вольфрамового електрода вибирають залежно від складу і товщини зварюваного металу. Його розміри лежать у межах 1–6 мм, а довжина 75–450 мм.

Вольфрамові зварювальні неплавкі електроди виготовляють як із чистого вольфраму, так і з вольфраму з різними активуючими домішками, що забезпечують стабільність горіння дуги (табл. 7.1).

Названі електроди використовують для дугового зварювання неплавким електродом у середовищі захисних газів (аргону, гелію), а також для плазмових процесів різання, наплавлення та напилення. Найбільш широко застосовують лантановані та ітрійовані електроди, вони менш токсичні, ніж торійовані.

Сила зварювального струму залежить від типу електрода, роду струму і його полярності. Так, електроди з домішками оксидів рідкоземельних металів WCe, WLa, WTh, WZr використовують, в основному, при зварюванні на постійному струмі прямої полярності (стабільніше горить дуга, менше витрачається електрод), а зварювальний струм залежить від діаметра електрода. Він змінюється у межах від 60 А до 200 А для d_e = 2 мм та від 150 А до 650 А для d_e = 2–6 мм. Для зворотної полярності й тих же діаметрів електрода зварювальний струм змінюється у межах від 20 до 120 А. У разі змінного струму сила струму становить 150–340 А, причому рекомендується застосовувати електроди з чистого вольфраму WP.

Треба мати на увазі, що, зварюючи на постійному струмі, всі електроди слід заточувати на конус, на змінному струмі – заточку у вигляді сфери.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 7.1

Марки і номінальні розміри вольфрамових електродів (ДСТУ EN ISO 6848-2015)

Марка	Присадки у вольфрамі	Колір маркування
WP	–	Зелений
WCe20	1,8–2,2 CeO_2	Сірий
WLa10	0,8–1,2 La_2O_3	Чорний
WLa15	1,3–1,7 La_2O_3	Золотистий
WLa20	1,8–2,2 La_2O_3	Блакитний
WTh10	0,8–1,2 ThO_2	Жовтий
WTh20	1,7–2,2 ThO_2	Червоний
WTh30	2,8–3,2 ThO_2	Фіолетовий
WZr3	0,15–0,5 ZrO_2	Коричневий
WZr8	0,7–0,9 ZrO_2	Білий

Величина напруги на дузі $U_д$ вибирається залежно від типу з'єднання, складу і товщини зварюваного металу. Якщо зварювання проводять без присадки, використовують коротку дугу 0,5–2 мм, з присадкою її збільшують до 3–4 мм так, щоб напруга на дузі була в межах 10–16 В.

Діаметр присадного металу залежить від товщини зварюваного металу, сили струму, розчищення та інших параметрів процесу. Лежить у межах 1,5–5 мм.

Витрата захисного газу Q залежить від товщини металу, зварювального струму, захисного газу (витрати аргону в 3–4 менші, ніж гелію), складу зварюваного металу, швидкості зварювання тощо, лежить у межах 5–20 л/хв (за аргоном).

Вибір захисного газу не залежить від властивостей зварюваного матеріалу, бо сам вольфрамовий електрод потребує лише інертної захисної атмосфери, тому що при нагріванні вище 400°С він інтенсивно окислюється. В основному як захисний газ використовують аргон, хоча зварювання в середовищі гелію характеризується більшою проплавною здатністю дуги, покращенням коефіцієнта форми провару при високій швидкості зварювання, але гелій – газ дорогий і дефіцитний, тому часто застосовують суміші аргону і гелію. Інколи як захисний газ використовують азот, який збільшує теплову потужність дуги, що потрібно при зварюванні міді.

Газоподібний аргон вищого або першого сорту, як і газоподібний гелій високої чистоти застосовують для зварювання плавким і неплав-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ким електродом високоактивних металів і сплавів (титану, алюмінію, жароміцних і корозійностійких сталей тощо).

Техніка ручного зварювання вольфрамовим електродом має деякі особливості, обумовлені властивостями електрода. Запалювання дуги може виконуватись торканням електрода до графітової або мідної підкладки з подальшим переносом дуги на місце зварювання, за допомогою осцилятора (пальник своїм соплом торкається поверхні виробу під кутом 20–25°, вмикається високочастотний струм, пальник повертається у робоче положення), встановлюється дуга потрібної довжини. Якщо зварювання ведуть на постійному струмі, осцилятор вимикається. При зварюванні змінним струмом осцилятор працює, поки горить дуга, а після запалювання дуги джерело високовольтного розряду автоматично відключається. Старт дугового розряду здійснюється ручним або ножним (педальним) вимикачем, причому у всіх випадках натискати на нього потрібно не менше 5 с. Спочатку подається захисний газ, і тільки потім запалюється дуга. Збуджування дуги здійснюється в розчищенні або на раніше наплавленому металі шва. Ніколи дуга не запалюється на поверхні зварюваного металу поза розчищенням. На початку шва треба розігріти кромки деталей, плавно переміщуючи дугу на невеликій ділянці, і лише після утворення зварювальної ванни подавати в неї присадний пруток. При зварюванні багатопрохідного шва стикового з'єднання з розчищенням кромок спочатку проплавляється корінь шва без присадки, а потім виконується потрібна кількість проходів, проте, якщо є загроза утворення гарячих тріщин, корінь шва заварюється з присадним матеріалом.

Зворотний валик формується у висячому положенні або за допомогою підкладок. Останні виготовляються з міді для зварювання сталей і жароміцних сплавів або з нержавіючої сталі для алюмінієвих і титанових сплавів.

Вони виконуються з поздовжньою канавкою завглибшки 0,5–2 мм і завширшки 3–20 мм. Захист зворотної сторони шва здійснюється через отвори в підкладці, а при зварюванні кореневого шва у висячому положенні, наприклад, при однобічному зварюванні кільцевого шва труби, коли неможливо встановити зйомні підкладки, а залишати їх не дозволяється, захисний газ подається в трубу за допомогою заглушок, розміщених по обидві сторони від стику. При складанні конструкції для зварювання треба використовувати пристрої, які забезпечують рівняння кромок, вилучення зазорів і надійне притискання кромок до підкладки. При зварюванні кутових з'єднань поздовжня вісь вольфрамового електрода має збігатися з бісектрисою кута між стінкою і полицею, а присадний дріт повинен розташовуватися в одній площині з вольфрамовим електродом.

Вісь вольфрамового електрода відхиляється від вертикалі на кут 15–20° у бік, протилежний напрямку зварювання, а присадний дріт по-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дається перед стовпом дуги в головну частину ванни під кутом 15–20° до поверхні зварюваного металу.

Іноді пальником і дротом маніпулюють, утворюючи зворотно-поступальні рухи або серповидні коливальні рухи поперек шва для забезпечення умов хорошого перемішування і сплавлення присадного металу з основним. При цьому треба слідкувати, щоб весь час розігрітий кінець присадного дроту перебував усередині потоку захисного газу. Занурюючи дріт у зварювальну ванну, треба одночасно помалу відводити від ванни кінець вольфрамового електрода. Ці технічні прийоми подавання присадного дроту до зварювальної ванни використовуються для всіх зварних з'єднань в усіх просторових положеннях зварювання.

Всі переміщення треба виконувати плавно, без різких рухів, які можуть порушити течію захисного газу. Не можна вводити кінець присадного дроту в стовп дуги, де під дією високої температури він інтенсивно розплавляється і розбризкується. Не можна торкатися торцем вольфрамового електрода до розплавленої ванни рідкого металу, а якщо це трапилось, забруднена ділянка має бути вирубана або зачищена. Після примусового обриву дуги її відновлення виконують на відстані не менше 10–15 мм до обриву, не допускаючи помітного підсилювання шва. Кратери заварюються шляхом поступового зменшення зварювального струму протягом не менше 5 с, а подача газу припиняється через 10–15 с після вимкнення струму. При автоматичному зварюванні є спеціальний пристрій заварювання кратера, який забезпечує поступове зменшення зварювального струму.

Для розширення діапазону зварюваних товщин, підвищення продуктивності зварювання вольфрамовим електродом і забезпечення стабільності провару розроблено кілька варіантів процесу: зварювання пульсуючим струмом, з підігріванням присадного дроту, кількома вольфрамовими електродами, загостреним катодом, проникаючою дугою тощо. Ці різновиди процесу можуть бути реалізовані з використанням стандартного обладнання або у поєднанні з додатковими вузлами і блоками.

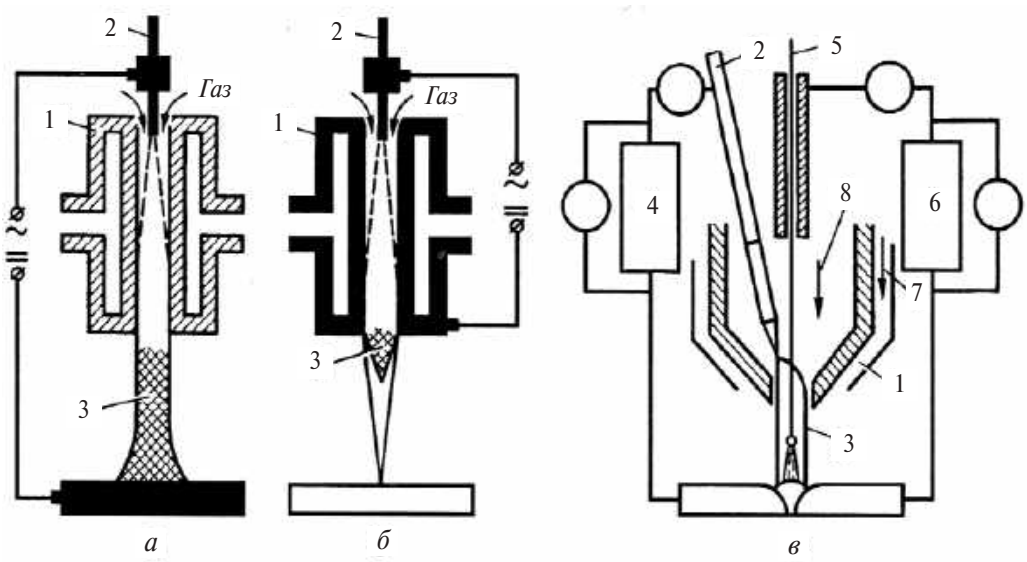
Різновидом зварювання вольфрамовим електродом є плазмове зварювання або зварювання стиснутою дугою, що досягається штучним стисненням за рахунок охолодження її зовнішніх шарів у вузькому каналі. При цьому значно (в 2–3 рази) підвищується температура дуги і збільшується її здатність проникати вглиб металу. Дуговий розряд можна створювати як між вольфрамовим електродом і виробом (дуга прямої дії), так і між електродом і соплом (дуга непрямої дії). Для цього вздовж стовпа дуги через канал у соплі пропускається нейтральний газ (аргон, гелій), який її і стикує, утворюючи холодний плазмовий струмінь (мал. 7.2).

Технологія зварювання «стиснутою дугою прямої дії передбачає вмикання виробу в зварювальний ланцюг, коли активні плями дугового розряду розміщуються на вольфрамовому або неплавкому електроді з іншого матеріалу і виробі (мал. 7.2, *а*).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Передавання тепла здійснюється за рахунок передачі енергії зарядженими частинками, що рухаються в електричному полі, конвекцією і випромінюванням плазми.

Найбільше поширення в промисловості цей різновид одержав при плазмовому зварюванні на постійному струмі прямої полярності завдяки можливості регулювання енергетичних, електричних, геометричних і механічних властивостей дуги.



Мал. 7.2. **Схема утворення стиснутої дуги прямої (*а*), непрямої (*б*) дії і комбінованим способом (*в*):**
1 – водоохолоджувальне мідне сопло; 2 – вольфрамовий електрод; 3 – стовп дуги; 4 – джерело струму зі спадною зовнішньою характеристикою; 5 – електродний дріт; 6 – джерело струму з жорсткою зовнішньою характеристикою; 7 – захисний газ; 8 – плазмоутворюючий газ

Для здійснення плазмового процесу застосовується плазмотрон. Це пристрій для одержання стиснутої дуги потрібної потужності, розмірів, форми, тиску і температури. Плазмотрони можуть бути прямої і непрямої дії, одно- і багатодугові, з тангенціальною і аксіальною подачею плазмоутворюючого газу (інертного або кисневмісного), працюють на постійному або змінному струмі, для ручного і механізованого використання, для мікроплазмового зварювання і зварювання з глибоким і наскрізним проплавленням, з циліндричним, параболічним, щілинним каналом сопла, для зварювання закритою і відкритою дугою, з прямим і непрямим охолодженням і т. д.

Основні елементи плазмотронів: корпус, сопло, електрод, вузол кріплення електрода, ізолятор, відокремлюючий електрод і сопло, водяні і газові комунікації. Найбільше термічне навантаження мають електроди

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

і сопла. У плазмотронах, що працюють у середовищі інертних і нейтральних газів і їх сумішей, використовують вольфрамові катоди, які фіксуються за допомогою цангових затискачів або мідної оправки. Якщо газ кисневмісний, використовують мідні катоди з гафнієвими або цирконієвими вставками. Діаметр і висоту каналу сопла вибирають залежно від сили робочого струму, складу і витрат плазмоутворюючого газу, охолодження сопла. Для інтенсифікації подавання плазмоутворюючого газу шляхом його «закрутки» на боковій поверхні електродотримача виконують концентрично багатозахідну різь з кроком 6–12 мм.

Виготовляють сопла з міді, молібдену, кераміки, пористих матеріалів.

Умови хорошого формування шва і одержання якісного зварного з'єднання забезпечуються правильним вибором параметрів режиму зварювання, підготовкою зварюваних кромок металу і контролем за ними під час процесу. Силу зварювального струму вибирають залежно від товщини металу, його властивостей і продуктивності процесу. Допустимі значення залежать від діаметра, довжини каналу сопла, заглиблення електрода, витрати плазмоутворюючого газу. Надійна робота плазмотрона вимагає для кожного конкретного діаметра каналу сопла величини струму на 5–10 % менше критичної (для уникнення подвійного дугоутворення). Витрата плазмоутворюючого газу має бути якомога більшою для забезпечення глибини проплавлення і підвищення ресурсу плазмотрона.

При великій швидкості зварювання з'являються підрізи і непровари, при малій – перегрів і пропал зварного шва. Зі зменшенням діаметра сопла підвищується концентрація тепла, яке вводиться у виріб, збільшується проплавлення і ширина шва, покращується формування шва у висячому положенні, проте при цьому треба знижувати силу зварювального струму. Довжина каналу сопла має дорівнювати 1–2 мм для одноканальних і 2,5–3 мм для багатоканальних сопел. Кут заточки вольфрамового електрода можна вибирати в межах 30–90°, притуплення його кінця 0,8–1,2 мм. Величина заглиблення електрода у передсоплову камеру повинна становити 5–6 мм при діаметрі каналу сопла більше 3 мм. Відстань від торця сопла до зварюваного виробу в межах 6–12 мм не впливає на проплавлення, але з її збільшенням шов стає ширшим. Рекомендується цей параметр збільшувати у міру зростання товщини зварюваного металу. У разі зварювання з додатковим електродним дротом його треба подавати у зону на відстані 10–12 мм від торця сопла перед дугою по лінії шва. Кращим з'єднанням є стикове без розчищення металу товщиною до 10 мм і з V-подібним розчищенням при більших товщинах. Якісний захист зворотної сторони шва забезпечується подачею захисного газу через отвори в підкладці.

Технологія зварювання стиснутою дугою непрямої дії передбачає горіння дуги між вольфрамовим електродом (мінус) і соплом (плюс), через яке подається плазмоутворюючий газ (мал. 7.2, *б*). Він видуває потік

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

плазми з каналу сопла і направляє його на зварюваний виріб. Сопло плазмотрона при цьому сприймає високі термічні навантаження, які можна зменшити лише інтенсивним охолодженням, що не завжди можливо. Температура плазми швидко зменшується в міру віддалення плазмотрона від виробу, що обмежує довжину стиснутої дуги непрямої дії. Все ж цей спосіб дає змогу досить точно дозувати кількість енергії, введеної в основний метал, що дуже важливо для зварювання тонкостінних виробів.

Одним із способів покращення використання дуги непрямої дії є зварювання зі струмоведучим присадним дротом. Джерелом теплоти для плавлення дроту є не залежний від виробу дводуговий розряд. Одна дуга (малопотужна) горить між вольфрамовим електродом і водоохолоджувальним соплом, друга – між вольфрамовим електродом і струмоведучим присадним дротом, а їх живлення здійснюється від одного джерела. Основний метал розплавляється під дією плазми дуги і перегрітого присадного металу. Таке роздільне і незалежне регулювання тепловмісту основного і рідкого наплавленого металу дає можливість одночасно зменшити швидкість охолодження біляшовної зони і шва, знизити перегрівання зварювальної ванни, забезпечити мінімальне використання основного металу в зварному шві й одержати його поперечний переріз будь-якої форми.

Технологія зварювання комбінованим способом поєднує зварювання стиснутою дугою і зварювання плавким електродом у середовищі інертного газу (мал. 7.2, *в*). Електродний дріт подається по осі плазмотрона, а вольфрамовий електрод розташований збоку в цьому ж соплі. Між вольфрамовим електродом і основним металом збуджується стиснута дуга, після чого подається електродний дріт і плазмоутворюючий газ, склад якого залежить від властивостей зварюваного металу (для зварювання низьковуглецевої сталі – це суміш Ar і CO_2, для зварювання алюмінію – суміш Ar + He тощо). Через зовнішнє сопло надходить захисний газ. При цьому способі одночасно існує дві дуги: внутрішня між кінцем присадного дроту і виробом (має відносно низьку температуру, і через неї проходить близько 10 % зварювального струму) і зовнішня між вольфрамовим електродом і виробом (має високу температуру плазми).

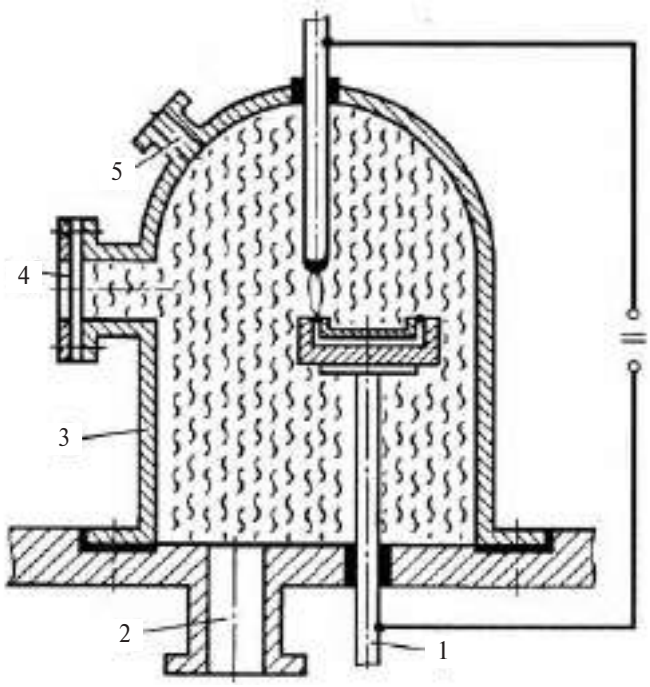
При малому струмі здійснюється струминний перенос електродного металу, при збільшенні струму починається процес обертання зварювальної дуги, що покращує перенос електродного металу, формування зварного шва, а при відсутності розбризкування зростає продуктивність.

Недоліком способу є складна конструкція плазмотрону, потреба мати два джерела живлення і можливість реалізації процесу лише в автоматичних установках.

Іншим різновидом (мал. 7.3) є зварювання в контрольованій атмосфері, коли зі спеціальної камери 3 відкачують повітря через трубу 2 форвакуумним насосом, а після досягнення потрібного розрідження

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

наповнюють її через канал 5 інертним газом з тиском, що дорівнює атмосферному.



Мал. 7.3. **Схема зварювання в камері з контрольованою атмосферою**

У камері розташовані пристрої 1 для переміщення деталі в процесі зварювання, яке може виконуватися як вручну, так і механізованим способом. Спостереження процесу зварювання і керування ним виконується зварником через ілюмінатор 4 і за допомогою двох гумових рукавів для виконання необхідних маніпуляцій. Надлишковий тиск внаслідок нагрівання газу під час зварювання стравлюється через запобіжний клапан. У таких камерах зварюють вироби складної конфігурації, що мають багато деталей з активних (наприклад, титанових) сплавів, коли провести якісне зварювання на повітрі неможливо.

7.1.1. Матеріали і технологія зварювання сталей і кольорових металів

Вуглецеві, низьколеговані сталі і чавуни зварювати вольфрамовим електродом недоцільно, оскільки продуктивність процесу низька, а вартість висока. Винятком є використання цього способу при виготовленні трубних конструкцій з низьколегованих теплостійких сталей для зварювання кореневого шва у висячому положенні, про що йшлося вище. Високолеговані нержавіючі сталі якісно зварюються вольфрамовим

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

електродом при виготовленні тонколистових конструкцій, якщо враховуються вимоги до їх складання для зварювання. Так, для товщин від 0,5 до 3 мм допустиме зміщення кромок по вертикалі становить від 0,15 до 0,40 мм, а відстань від точки притискання до стику – відповідно від 3 до 9 мм.

Для високолегованих сталей малих товщин (0,5–3 мм) також ефективне зварювання пульсуючим струмом. Сутність його полягає в тому, що метал розплавляється під дією імпульсу струму, а кристалізується під час паузи, внаслідок чого при зварюванні шва точки частково перекриваються. Особливо цінним є те, що стабільність формування шва забезпечується в усіх просторових положеннях при невисокій точності зібраних деталей, а внаслідок пауз зменшується перегрівання зварного з'єднання і, відповідно, його деформація. Така технологія використовується при зварюванні неповоротних стиків труб зі сталі 10Х18Н9Т.

Мідь і мідні сплави товщиною до 4 мм зварюють без розчищення кромок і без підігрівання, товщиною 4–12 мм – із V-подібним розчищенням з кутом розкриття 70–90°, притупленням 1,5–2 мм і попереднім підігріванням до 400–600°С.

Як присадний дріт рекомендується бронза Бр КМц 3-1, міднонікелевий сплав МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 тощо. Техніка зварювання залежить від захисних газів, що використовуються. Для аргону і гелію довжина дуги найменша, при зварюванні в азоті вона може бути у 2–2,5 рази більшою.

Нікель і його сплави при виготовленні металоконструкцій зварюються, в основному, вольфрамовим електродом.

Як захисний газ використовується аргон або його суміш з воднем, а присадним матеріалом є прутки марок НМц2,5, НМц5, НМцАТ3 – 1,5–0,6 тощо. Зварювання проводиться лівим способом при мінімальній довжині дуги, на максимально можливій швидкості, з мінімальними поперечними коливаннями електрода. Багатопрохідні шви виконуються після повного охолодження попереднього шва, зачищення його від шлаку й знежирення.

Свинець, якщо шви знаходяться у різних просторових положеннях, найбільш продуктивно зварюється вольфрамовим електродом. Метал малих товщин (до 3 мм) зварюють малоамперною короткою дугою постійним струмом прямої полярності.

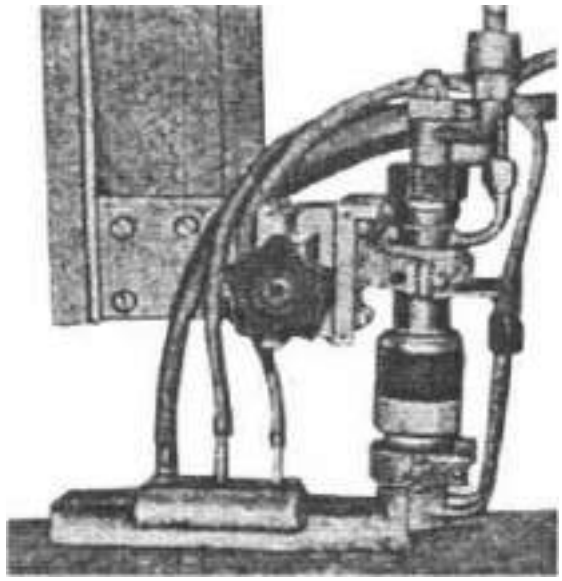
Титан і його сплави теж зварюються з використанням вольфрамового електрода. Цей спосіб найпоширеніший. Найнадійніший захист зони зварювання шва, що охолоджується, і всього з'єднання може забезпечити лише камера з контрольованою атмосферою (мал. 7.3).

Для зварювання кільцевих оборотних і необоротних стикових з'єднань використовують місцеві або малогабаритні камери, але частіше за все зварювання виконується на повітрі з використанням спеціальних пальників зі збільшеним діаметром сопла, в яке захисний газ надходить через «газову лінзу» – пакет із сіток з дрібною клітинкою (80–250 отв/см^2) або вкла-

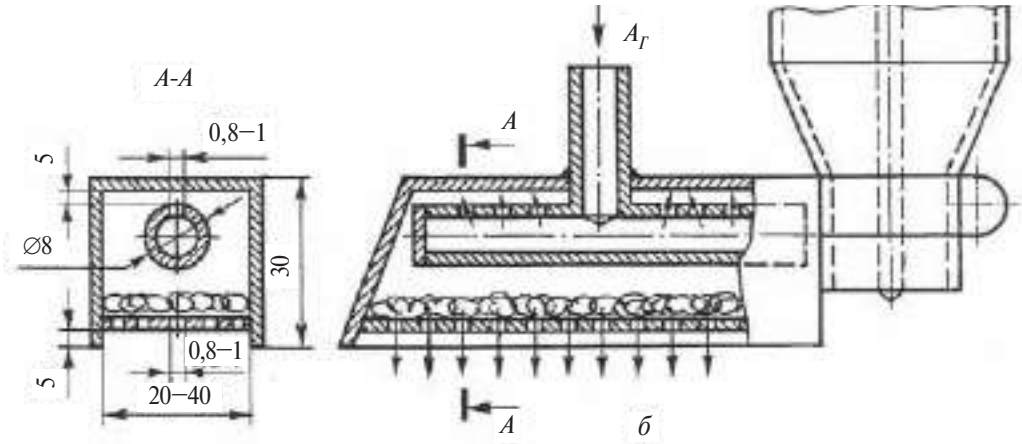
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дишів з пористого термостійкого матеріалу, що забезпечують ламінарну течію струменя.

Для захисту ділянок зварного з'єднання, що охолоджуються, застосовують спеціальні насадки-хвостовики, закріплені на пальнику (мал. 7.4), а на корінь шва з-під спеціальної формуючої підкладки також подається захисний газ (на піддув).



а



Мал. 7.4. **Насадка-хвостовик на пальнику для зварювання титану:**
а – загальний вигляд; *б* – поперечний і поздовжній розрізи

Якість захисту можна контролювати візуально. Наявність кольорів мінливості (синіх, фіолетових, помаранчевих, солом'яних) сигналізує

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

про недостатній захист, а об'єктивним способом оцінки може бути вимірювання твердості. Підвищена порівняно з основним металом твердість таких ділянок підтверджує візуальний висновок. Зварювання здійснюється постійним струмом прямої полярності без поперечних коливань пальника, кутом вперед, короткою дугою. Аргон подається перед запалюванням дуги і після закінчення процесу до охолодження металу до 400°С. Як присадні метали використовують дріт марки ВТ1-00 для зварювання чистого титану і його низьколегованих сплавів, а також спеціальні присадки більш вузького призначення.

Метал товщиною до 3 мм зварюється без розчищення кромок, товстіший потребує розчищення. Застосовується V-подібне розчищення для товщин 4–10 мм, Х-подібне для 10–15 мм, U-подібне для товщин більше 15 мм.

Для титану і його сплавів завтовшки 0,5–2 мм ефективне імпульсно-дугове зварювання, яке виконують імпульсами постійного струму прямої полярності. Між вольфрамовим електродом і виробом від окремого джерела живлення постійного підтримується «чергуюча дуга» (0,8–2 А), на яку накладається імпульсна дуга.

При такому способі зварювальні деформації зменшуються на 15–30 % порівняно з безперервною дугою, зменшується зона термічного впливу, покращується структура металу.

Можна значно підвищити проплавну здатність дуги застосуванням галогенних флюсів, що містять фториди кальцію, магнію, літію тощо. Вони наносяться на поверхню, яка підлягає зварюванню. Завдяки підвищеній концентрації теплової енергії в активній плямі можна зварювати без розчищення кромок за один прохід метал товщиною до 12 мм. При цьому також зменшується на 15–25 % деформація виробу, зона термічного впливу і покращується структура зварного шва, що особливо важливо при зварюванні високолегованих термічно зміцнюваних титанових сплавів. Наносять флюс у вигляді пасти. Товщина шару 0,1 мм при струмі менше 150 А і 0,2–0,3 мм при струмі більше 150 А. Ширина шару відповідно 15–20 і 40 мм.

Алюміній і його сплави при виготовленні металоконструкцій з товщиною стінки до 12 мм доцільно зварювати вольфрамовим електродом. Підготовка кромок деталей під зварювання виконується згідно з ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 3. Зварювання плавким і вольфрамовим електродом в інертному газі алюмінію та його сплавів. Метал до 3 мм зварюють за один прохід на сталевій підкладці. При товщині 4–6 мм зварювання виконують з двох боків, а починаючи з 6–7 мм, використовують V- або Х-подібне розчищення. Зварювання проводиться на змінному струмі, присадка подається короткими зворотнопоступальними рухами, без поперечних коливань вольфрамового електрода, довжина дуги не перевищує 1,5–2,5 мм, а відстань від виступаючого кінця

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вольфрамового електрода до нижнього зрізу наконечника пальника при виконанні стикових з'єднань складає 1–1,5 мм, при таврових і кутових – 4–8 мм. Крім того, існує залежність між діаметром електрода і діаметром вихідного отвору сопла. Для діаметра електрода 2–3 мм діаметр сопла становить 10–12 мм. Для діаметрів електрода 4, 5 і 6 мм діаметр сопла відповідно 12–16, 14–18 і 16–22 мм.

Механізоване зварювання виконується при більшій силі струму за один прохід або двобічним швом. Вольфрамовий електрод встановлюється вертикально, а присадний дріт подається механізмом подачі так, щоб його кінець спирався на край зварювальної ванни.

Плазмове зварювання алюмінію і його сплавів виконується стиснутою дугою змінного і постійного струму зворотної полярності, воно підвищує продуктивність процесу на 50–70 %, знижує витрати аргону в 4–6 раз, покращує якість зварних швів. Стикові з'єднання товщиною до 8 мм зварюють без розчищення кромок із зазором 1,5 мм за один прохід на сталевій підкладці або з двох боків у висячому положенні.

Для зварювання металу товщиною до 1,5 мм ефективне використання мікроплазмового процесу на змінному струмі 10–100 А. Плазмоутворюючий і захисний газ – аргон з витратою відповідно 0,25–0,3 і 2,5 л/хв. При цьому швидкість зварювання може досягати 60 м/год. Хоча для цього процесу потребується прецезійна технологічна оснастка, тонкостінна зварна конструкція зварюється з меншими на 25–30 % деформаціями порівняно зі звичайним аргонодуговим зварюванням вольфрамовим електродом.

Магнієві сплави зварюють на змінному струмі при мінімальній довжині дуги 1–1,5 мм з використанням сталевих підкладок з формуючими канавками шириною 6–8 мм і глибиною 0,8–2 мм. Метал товщиною більше 5 мм потребує V- чи X-подібного розчищення. Як і в разі зварювання титану, при виконанні першого шва слід захищати корінь шва інертним газом. Діаметр вихідного сопла пальника вибирають залежно від сили зварювального струму.

Для $I_{зв}$ = 50 А діаметр сопла d_c = 8 мм. Для сили струму 100, 200, 300 і 400 А, діаметр сопла відповідно 8–10, 10, 14–20 і 20 мм.

При багатопрохідному зварюванні потрібне ретельне зачищення попереднього шару від чорного нальоту оксидів. Присадним металом є дріт, одержаний пресуванням відповідного сплаву, наприклад МА1, МА2-1.

7.1.2. Обладнання для ручного і механізованого зварювання та його технічні характеристики

Зварювання неплавким електродом може виконуватись вручну, напівавтоматом і автоматом. Порівняно з ручним дуговим зварюванням покритим електродом обладнання для зварювання вольфрамовим електродом більш складне, що обумовлено як специфікою процесу (наявність

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вольфрамового електрода, захисного газу), так і його технологією (технікою зварювання, зварюваністю матеріалів тощо). Зараз існує тенденція створення універсального обладнання, яке б давало змогу вести зварювання неплавким електродом на постійному і змінному струмі, а також покритим електродом. З одного боку, якщо виробництво пов'язано з виготовленням металоконструкцій із широкої номенклатури різноманітних металів і сплавів, це може бути доцільним. Проте надійність його в експлуатації знижується внаслідок збільшення кількості пристроїв і вузлів в одному агрегаті і підвищення ймовірності їх виходу з ладу. У разі ж випуску однотипної продукції краще використовувати простіші і надійніші вузькоспеціалізовані установки.

Пост для ручного дугового зварювання вольфрамовим електродом складається із джерела живлення, балона для захисного газу з редуктором і витратоміром-ротаметром та водоохолоджувальної станції, яка здійснює циркуляцію води по замкнутому колу. При цьому охолоджується пальник і струмопідвідний кабель, завдяки чому зменшується його вага.

При зварюванні на невеликій силі струму (до 250 А) використовують пальники з природним повітряним охолодженням. Усі установки забезпечують безконтактне збудження дуги в режимі ТИГ (зварювання вольфрамовим електродом в інертних газах) на змінному і постійному струмі, поступове наростання і зменшення зварювального струму на початку і в кінці зварювання, а також його регулювання, тривалість часу подавання газу в пальники на початку і в кінці зварювання, регулювання оптимального співвідношення очищувальної і проплавляючої дії дуги, можливість підключення дистанційного пульту керування при роботі на відстані від установки тощо. Зовнішній вигляд такого апарата показано на мал. 7.5, а панель пульта керування установки фірми Miller Electric (США) – на мал. 7.6. Для керування пристроєм на пульт винесено: 1 – перемикач для вибору способу зварювання – плавким чи неплавким електродом; 2 – перемикач для вибору способу регулювання силою зварювального струму: якщо здійснюється на панелі – за допомогою рукоятки 7, сила струму висвітлюється на амперметрі 5, а якщо зварник регулює струм дистанційно, сила струму висвітлюється у нього на переносному пульті (скрізь цифрова індикація); 3 – тумблер для вмикання напруги холостого ходу для забезпечення можливості збудження дуги торканням електрода до виробу (дія тумблера дублюється дистанційними пультами); 4 – тумблер високої частоти; 5 – амперметр з цифровою індикацією, показує силу струму під час зварювання; 6 – вольтметр із цифровою індикацією, показує напругу при розімкнутому ланцюзі і під час зварювання; 7 – регулятор сили зварювального струму, причому положення тумблера 2 вказує, звідки здійснюється регулювання – з панелі пульта, чи дистанційно, за допомогою ручного чи педального переносного пульта; 8 – рукоятка контролю рівноваги між проплавленням

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

металу і очищенням поверхні від оксидної плівки при зварюванні на змінному струмі з прямокутною формою хвилі; 9 – рукоятка установки часу подачі газу після закінчення зварювання (існує правило, що на кожні 10 А зварювального струму треба забезпечити 1 с протікання газу); 10 – тумблер вмикання контролю пульсуючого струму; 11 – рукоятка установки верхнього рівня пульсуючої хвилі; 12 – рукоятка установки числа імпульсів від 10 до 0,5 імпульса в секунду; 13 – рукоятка установки нижнього рівня пульсуючої хвилі у відсотках від вищого рівня хвилі; 14 – вмикач для вмикання або вимикання джерела; 15 – перемикач для вибору роду струму і полярності (джерело забезпечує можливість зварювання на трьох різних режимах); 16 – тумблер і рукоятка встановлення часу заварювання кратера; 17 – тумблер і рукоятка стартового контролю зварювального струму і часу (коли тумблер вимкнений, задаються сила початкового струму і час його протікання; коли час протікання стартового струму закінчується, автоматично встановлюється задана сила зварювального струму); 18 – тумблер і рукоятка установлення часу протікання струму при точковому зварюванні вольфрамовим електродом; 19 – тумблер і рукоятка установлення часу подачі газу до моменту збудження дуги.

Мал. 7.5. **Зовнішній вигляд установки для зварювання неплавким і плавким електродами марки УДГУ-251 АС/ДС фірми SELMA з дистанційним пультом**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Мал. 7.6. **Панель пульта керування установки для зварювання вольфрамовим електродом марки Syncrowave*351 фірми Miller Electric (США)**

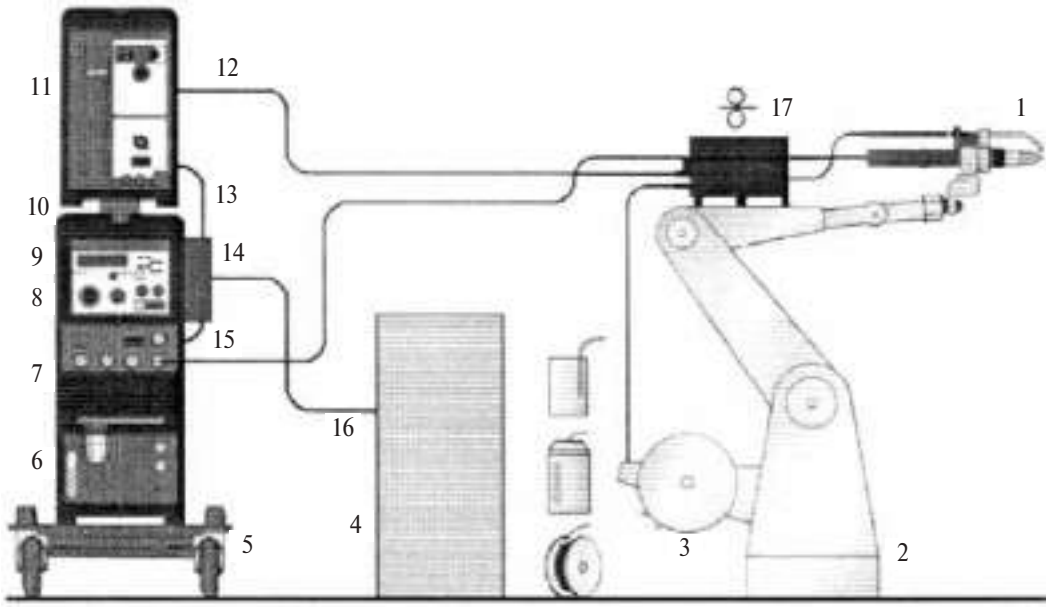
Тумблер високої частоти 4 має три позиції: стартову – висока частота використовується лише тоді, коли дуга збудиться і горіння її стабілізується (достатньо для постійного струму), після чого вона автоматично вимикається; тривалу – висока частота діє весь час, що характерно для зварювання вольфрамовим електродом на змінному струмі; позицію вимкнення – висока частота не застосовується, цією позицією користуються при збудженні дуги торканням вольфрамовим електродом до виробу. На змінному струмі з прямокутною формою хвилі також виконують зварювання плавким електродом.

Безумовно, такі установки складні і дорого коштують, потребують високої культури праці і ретельного використання профілактичних заходів. У разі, коли до якості виготовлення металоконструкцій не висувається надто високих вимог, можна комплектувати джерела живлення змінного і постійного струму, які експлуатуються на виробництві, спеціальним збудником-стабілізатором дуги, наприклад, марки ВСД-2 фірми SELMA. Його живлення можна здійснювати від мережі 36, 220 і 380 В разом із джерелом, що має напругу холостого ходу від 70 до 100 В. При невеликій потужності 50 Вт він забезпечує збудження дуги і дає змогу регулювати продувку газу до 30 с.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Пальник є важливою частиною спеціальних установок або постів зварювання неплавким електродом. Деякі зарубіжні моделі забезпечують обертання корпусу пальника на 90°, що зручно при виконанні зварювання у важкодоступних місцях.

Напівавтоматичне зварювання вольфрамовим електродом подібне до ручного дугового з тією різницею, що присадний дріт подається у плавильний простір за допомогою подавального механізму, а зварник контролює довжину дуги і швидкість зварювання. Цей спосіб використовується обмежено, оскільки зварювання можна вести лише у напрямку подачі дроту. Така технологія можлива лише для зварювання прямолінійних швів. Уникнути цих недоліків можна завдяки використанню сучасних роботів для дугового зварювання неплавким електродом (мал. 7.7).

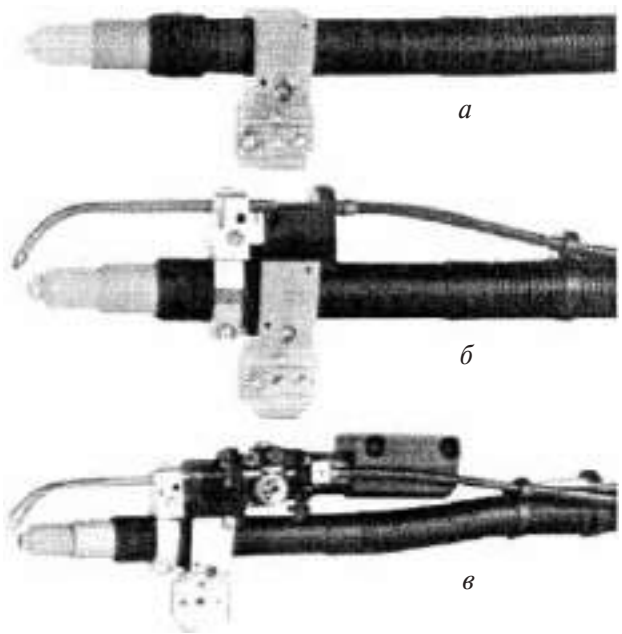


Мал. 7.7. **Схема комплексу ддя роботизованого зварювання вольфрамовим електродом австрійської фірми «Fronius»:**
1 – пальник; 2 – робот; 3 – касета з нежорстким дротом; 4 – апаратура керування роботом; 5 – візок; 6 – блок охолоджування; 7 – джерело живлення; 8, 9 – панелі пульта керування джерелом живлення і роботом; 10 – стояк, що обертається; 11 – механізм подачі електрода штовхаючого типу для жорсткого дроту; 12 – шланг для подачі електродного дроту; 13, 16 – кабелі керування роботом і механізмом подачі жорсткого дроту; 14 – рознімна коробка кабелів керування; 15 – кабель живлення зварювальним струмом; 17 – механізм подачі електрода тягнучого типу (для нежорсткого дроту)

Крім усіх операцій, перерахованих раніше, комплекс забезпечує виконання деяких додаткових, таких як автоматичне утворення заданої

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

сферичної поверхні вольфрамового електрода при зварюванні на змінному струмі, розширення функцій по модульній системі, мікропроцесорне керування, код безпеки тощо. У комплекс входять спеціальні пальники з кабелями, пакетами шлангів (мал. 7.8) довжиною до 16 м, тому можна обслуговувати значну виробничу ділянку. Пальник, показаний на рис. 7.8, *в*, має мініатюрний механізм тягнучого типу, що дає змогу надійно подавати тонкий електродний дріт усіх сплавів.



Мал. 7.8. **Пальники для роботизованого зварювання неплавким електродом австрійської фірми «Fronius»:**
а – без присадного дроту; *б* – з подачею присадного дроту механізмом штовхаючого типу; *в* – з подачею присадного дроту механізмом тягнучого типу

Використання роботизованих комплексів дуже ефективне при виготовленні порівняно простих металоконструкцій (їх спеціально проектують під цей вид зварювання) в серійному виробництві.

Менше поширене автоматичне зварювання вольфрамовим електродом, яке використовують при зварюванні поздовжніх і кільцевих швів металу середніх товщин. Такий апарат переміщується за допомогою механізму по напрямних (головка) або безпосередньо по виробу (трактор), а зварювальний пальник має спеціальний пристрій для кріплення електрода і підводу присадного дроту, який подається за допомогою механізму, розміщеного на каретці. Зварювальний трактор АДСВ-6 призначений дня зварювання на постійному і змінному струмі силою струму до 315 А, діаметром вольфрамового електрода 1–5 мм і присадним дро-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

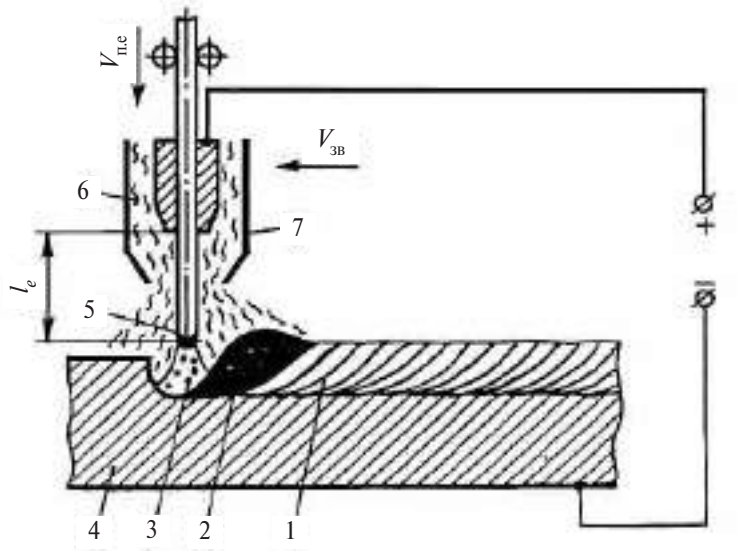
том 0,8–2 мм на швидкості зварювання 5–80 м/год, має масу 27 кг. Зварювальний автомат типу АСТ-1 призначений для зварювання неповоротних стиків труб із алюмінію, сталі і титану (тому АСТ) у цехових умовах, а АСТ-П – у монтажних умовах на струмі 250–300 А при діаметрі зварюваних труб 100–200 мм. Таким чином, зварювання у середовищі інертних газів вольфрамовим електродом дає змогу спостерігати дугу і керувати нею, завдяки високій концентрації тепла одержувати зварні шви з мінімальною довжиною зони термічного впливу (що важливо для металів і сплавів, схильних до структурних перетворень) і мінімальними деформаціями виробу (що важливо для тонкостінних конструкцій), вести процес у всіх просторових положеннях і особливо придатне у роботі роботизованих зварювальних комплексів.

7.2. ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ (13)

На відміну від попереднього способу зварювання виконується при розплавленні електродного дроту, що подається у плавильний простір, а його захист від повітря здійснюється подаванням захисного газу інертного, активного або їх сумішей під тиском більшим, ніж атмосферний, внаслідок чого повітря відтиснюється й утворюється відповідне газове середовище.

7.2.1. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання

При цьому способі зварювання дуга горить між електродом 5, що подається в зону зварювання за допомогою спеціального механізму зі швидкістю $V_{п.е.}$ і виробом 4 (мал. 7.9).



Мал. 7.9. **Схема зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Краплі розплавленого електродного металу 3 змішуються з розплавленим основним металом, утворюючи спільну зварювальну ванну 2, яка після кристалізації перетворюється у зварний шов 1. Саме ж переміщення пальника вздовж зварного шва виконується вручну зварником зі швидкістю зварювання $V_{зв}$. Захист плавильного простору здійснюється інертним або активним газом 6, що подається через сопло 7 під тиском, більшим за атмосферний. Утворене газове середовище і буде визначати характер взаємодії між газами і розплавленим металом. Як і в попередньому способі, треба забезпечувати ламінарну течію газу з сопла, для чого використовують такі ж самі засоби.

Основними параметрами режиму є такі.

Рід струму, полярність – зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності, при цьому має місце найбільш стабільне горіння дуги в будь-якому газовому середовищі.

Діаметр електродного дроту залежить від товщини зварюваного металу й просторового положення; d_e знаходиться у межах 0,5–2,0 мм для напівавтоматичного зварювання і 2–4 мм – для автоматичного.

Сила зварювального струму $I_{зв}$ залежить від діаметра електрода, просторового положення і швидкості його подачі, $I_{зв} = 50…500$ А.

Напруга на дузі $U_д$ залежить від просторового положення, сили зварювального струму, діаметра і складу електродного дроту і захисного газу, $U_д = 18…35$ В.

Швидкість зварювання $V_{зв}$ при напівавтоматичному зварюванні не задається з тих же міркувань, що і при ручному, при автоматичному знаходиться у межах 10–60 м/год.

Витрата захисного газу Q залежить від товщини металу, зварювального струму, захисного газу (витрати аргону і двоокису вуглецю в 3–4 рази менші, ніж гелію), складу зварюваного металу, швидкості зварювання тощо, $Q = 5…30$ л/хв.

Вибір захисного газу в першу чергу залежить від властивостей зварюваного металу. Деякі високолеговані сталі і сплави, титан і його сплави потребують лише інертної захисної атмосфери. Деякі високолеговані сталі і сплави, алюміній і його сплави можуть бути зварені як в інертній атмосфері, так і з домішками до неї активних газів, наприклад 2–5 % кисню. При цьому досягається струминний перенос металу, зменшується розбризкування і не з'являється пористість від водню. Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей можна виконувати в активних газах (CO_2, суміші CO_2 + (20–30) % O_2) і в суміші активних і інертних газів (Ar + 25 % O_2), (Ar + 10–15 % CO_2). Остання суміш сприяє струминному переносу електродного металу і дає змогу ліквідувати розбризкування. Склад захисних газів впливає і на інші технологічні характеристики процесу. При зварюванні в аргоні м'яка і довга дуга забезпечує сприятливі умови зварювання металу малих і середніх товщин у нижньому положенні.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При зварюванні в гелії і азоті та в їх сумішах з аргоном завдяки підвищеній тепловій потужності забезпечується більша глибина провару і сприятлива його форма, що важливо для підвищення швидкості зварювання.

Як захисні гази для зварювання плавким електродом застосовують двоокис вуглецю і аргон та їх суміші з іншими газами. Якщо зварювальна атмосфера сильноокислювальна, використовують двоокис вуглецю газоподібний технічний, зварювальний і зварювальний підвищеної якості. Двоокис вуглецю марки С1 містить 100 % основного продукту, марки С2 – не менше 70 % CO_2, решта O_2 (маркування швейцарської фірми «AIR-LIQUIDE Group»). Для зварювання в аргонокисневій атмосфері застосовують захисну суміш газів (ТУ 621-10-74) аргону (77–79 %) і кисню (23–21 %).

У разі слабоокислювальної атмосфери використовують суміш М21 (маркування названої вище фірми), що складається з 75–95 % Ar і 5–25 % CO_2.

Виліт електрода l_e залежить від діаметра електрода і його електрофізичних властивостей. При малому вильоті можливе оплавлення мундштука, збільшується забризкування внутрішньої поверхні сопла, що призводить до порушення ламінарної течії захисного газу. При великому вильоті погіршується захист плавильного простору, дріт внаслідок перегрівання втрачає свою жорсткість, погіршується направлення його в місце зварювання; оптимальний виліт 10–30 мм.

З другого боку, завдяки підігріванню дроту на ділянці збільшеного вильоту зростає швидкість його плавлення і продуктивність процесу. Реалізувати це явище можна, використовуючи спеціальні керамічні напрямні мундштуки.

При виборі цих взаємопов'язаних характеристик треба керуватись даними, наведеними в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Рекомендовані співвідношення між діаметром електрода та силою струму, напругою на дузі та вильотом електрода

Параметр	Діаметр електрода, мм						
	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Струм, А	30–100	60–150	80–180	90–220	120–350	200–500	250–600
Напруга, В	18–20	18–22	18–24	18–28	18–32	22–34	24–38
Виліт, мм	6–10	8–12	8–14	10–15	14–20	15–25	15–35

Техніка напівавтоматичного зварювання у середовищі захисних газів плавким електродом досить проста і має багато спільного з технікою ручного дугового зварювання.

Роль зварника зводиться до підтримки постійної величини вильоту електрода і відстані від сопла до виробу, рівномірного переміщення

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

пальника вздовж зварюваних кромок та інколи у виконанні необхідних маніпуляцій і коливань електродом. Останнє залежить від діаметра дроту; при зварюванні тонким дротом (до 1,6 мм) форма коливань, як і при ручному процесі, при більших діаметрах залежатиме від типу з'єднання. Кореневі шви зварюють при зворотно-поступальному переміщенні електрода, середні шари стикових швів при переміщенні електрода по витягнутій спіралі, а верхні шари – з поперечними коливаннями «змійкою». Зварювання проводять з нахилом електрода під кутом вперед і кутом назад до 10–30°. У першому разі глибина провару зменшується порівняно з другим внаслідок підтікання рідкого металу під основу дуги.

Зворотно-поступальні рухи пальника зменшують пористість, особливо при застосуванні активних газів внаслідок покращення захисту і перемішування та сповільнення охолодження рідкої ванни, що сприяє виділенню з неї газів.

Підготовка кромок під зварювання регламентує ДСТУ EN ISO 9692-1:2014, згідно з яким можна якісно зварювати метал, починаючи з товщини 0,8 мм. У всіх випадках зварювання стикових швів тонкостінних виробів краще виконувати у вертикальному положенні зверху вниз або «у висячому положенні», а дугу потрібно направляти на ванну рідкого металу і виконувати такий шов за один прохід. Якщо деталі зібрано із зазором, треба вести процес із періодичними зупинками, зменшенням потужності або з поперечними коливаннями. Кільцеві стикові шви зварюють, як і прямолінійні. Метал товщиною до 4 мм краще зварювати у напівстельовому або вертикальному положенні зверху вниз дротом малого діаметра або імпульсною дугою. Товстіші вироби зварюють у нижньому положенні зі зміщенням електрода з зеніту в бік, протилежний обертанню деталі, величина якого залежить від діаметра деталі, сили струму і швидкості зварювання. З'єднання металу внапустку товщиною до 1,5 мм виконують, направляючи дугу на верхню кромку, при більшій товщині зварюють «у висячому положенні», з нахилом електрода поперек шва, а дугу направляють у кут зрізу кромки верхнього листа.

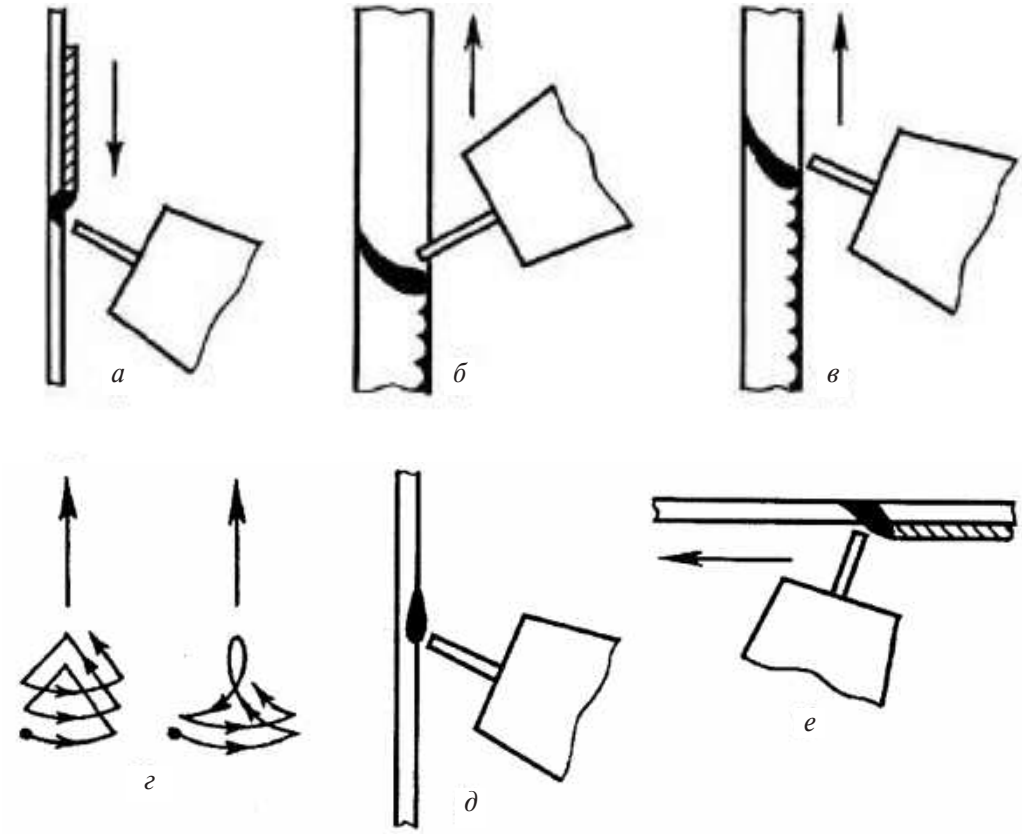
Кутові з'єднання зварюють «човником» нахиленим електродом під кутом 50–60° до полиці. Якщо товщина металу менша 5 мм, дугу спрямовують у кут. За більшої товщини електрод зміщують у бік полиці на 0,8–1,5 мм, а саме зварювання ведуть кутом уперед.

Зварювання електрозаклепками і точками використовують для стикових, кутових і з'єднань внапустку металу товщиною до 2 мм у всіх просторових положеннях з пробиванням або без пробивання отворів у верхньому листі, а стискання деталей забезпечують притисканням сопла, яке має отвори для виходу газу.

Вертикальні шви на тонкому металі зварюють з вільним формуванням металу: процес ведуть зверху вниз, кутом назад, направляючи дугу на передню частину ванни, що забезпечує проплавлення кромок і виключає

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

пропали. Товщини до 3 мм зварюють без коливань, більші – з поперечними коливаннями (мал. 7.10, *а, г*).



Мал. 7.10. **Схема розміщення електрода і його поперечні коливання при зварюванні вертикальних швів на сталі товщиною менше 6 мм (*а*) і більше 6 мм (*б, е, г*), а також при зварюванні горизонтальних (*д*) і стельових (*е*) швів**

Зварювання зверху вниз не вимагає високої точності складання деталей і виконується в 2–2,5 рази швидше, ніж знизу вверх. Зварювання металу товщиною більше 6 мм виконують знизу вверх (мал. 7.10, *б, в*) для одержання надійного провару і забезпечення відсутності несплавлення по краях шва, частими короткими замиканнями, пересаджуючи електродний метал крапельку за крапелькою у зварювальну ванну. При значній довжині прямолінійні вертикальні шви на сталі товщиною від 8 до 40 мм рекомендується зварювати з примусовим формуванням шва за допомогою мідних водоохолоджувальних повзунів, використовуючи порошковий дріт або невелику кількість флюсу, що подається у плавильний простір. Саме зварювання виконується за допомогою спеціального

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

автомата. Використання імпульсно-дугового процесу значно спрощує зварювання таких швів.

Горизонтальні шви виконують з нахилом електрода, знизу вверх і кутом назад без поперечних коливань (мал. 7.10, *д*), направляючи дугу на зварювальну ванну. При товщині металу більше 4 мм розчищають кромки верхнього листа, а метал товщиною більше 6 мм зварюють з нахилом електрода зверху вниз. При цьому кореневий шов зварюють тонким дротом з частими короткими замиканнями, імпульсною дугою або неплавким електродом. Основне розчищення заплавляють плавким електродом на великих струмах, а облицювальний шов тим способом, що і кореневий.

Стельові шви найскладніші у виконанні, їх зварюють кутом назад (мал. 7.10, *е*) на мінімальних силах струму і напруги, а діаметр електрода вибирається у межах 0,5–1,4 мм. Дугу і потік захисного газу спрямовують на ванну рідкого металу для зменшення її стікання при збільшеній витраті газу, поперечних коливаннях електрода, частих коротких замиканнях або імпульсній дузі.

7.2.2. Матеріали і технологія зварювання сталей і кольорових металів

Завдяки таким значним перевагам, як висока продуктивність, легкість транспортування захисного середовища до плавильного простору, відсутність шлакової кірки і шлакових включень, зменшення ширини зони термічного впливу і зварювальних деформацій, зварювання у всіх просторових положеннях, можливість спостереження за дугою і керування нею напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів повністю витиснуло напівавтоматичне зварювання під флюсом і стало домінуючим серед механізованих процесів зварювання при виготовленні металоконструкцій відповідального і особливо відповідального призначення.

Вуглецеві, низьколеговані і деякі середньолеговані сталі можна зварювати у сильно- або слабоокислювальному середовищі завдяки використанню електродного дроту з підвищеним вмістом елементів-розкислювачів.

Справа в тому, що вуглекислий газ лише захищає від азоту плавильний простір, а сам утворює в ньому кисле середовище за рахунок дисоціації:

$$CO_2 \leftrightarrow CO + 1/2O_2.$$

Рідкий метал у головній частині зварювальної ванни може реагувати як і з самим двоокисом вуглецю, так і з продуктами його дисоціації:

$$Fe + CO_2 \leftrightarrow FeO + CO,$$
$$Fe + O \rightarrow FeO,$$

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

внаслідок чого зварювальна ванна насичується киснем. При охолодженні розплавленого металу і вуглець, який є в сталі, може окислюватись з утворенням оксиду вуглецю:

$$C + O \rightarrow CO,\ FeO + C \rightarrow CO + Fe.$$

Виділяючись зі зварювальної ванни у вигляді пухирів, він може спричинити пористість. Якщо зварювальний дріт легований кремнієм і марганцем, оксиди заліза будуть розкислюватися, головним чином, внаслідок взаємодії з ними, а не з вуглецем, що забезпечить якісний метал шва і відсутність пор:

$$2FeO + Si \rightarrow SiO_2 + 2Fe,$$
$$FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe.$$

Ці реакції йдуть у хвостовій частині зварювальної ванни, тому оксиди кремнію і марганцю у вигляді дуже тонкої шлакової кірочки покривають поверхню зварного шва. Суттєвим недоліком використання вуглекислого газу для зварювання є підвищене розбризкування, внаслідок чого забризкується внутрішня поверхня сопла пальника і навколошовна зона, а відокремлювання бризок від основного металу є важкою непрестижною ручною працею.

Щоб запобігти цьому явищу, треба використовувати спеціальні джерела живлення, застосовувати газові суміші, які сприяють дрібнокрапельному переносу електродного металу ($CO_2 + O_2$) або струминному ($Ar + CO_2$), вести зварювання спеціальними порошковими або активованими дротами або наносити на біляшовну поверхню спеціальні лакофарбові покриття. Останні ефективно діють лише при однопрохідному зварюванні, після чого їх треба поновлювати. З урахуванням специфіки захисту плавильного простору вуглекислим газом зварювання різних з'єднань із вуглецевих і низьколегованих сталей проводять з використанням спеціальних електродних дротів. Так, вуглецеві і низьколеговані конструкційні сталі типу Ст3, 10ХСНД, 15ХСНД зварюють із застосуванням дротів Св08ГС, Св08Г2С, Св08ГСМТ, низьколеговані високоміцні сталі типу 30ХГСА, 15ХМА – дротами Св-08ХГСМФА, Св-08Х3Г2СМ.

Зварювання дротом діаметром 0,8–1,4 мм виконують зі звичайним вильотом у всіх просторових положеннях, а діаметром 1,6–2 мм – із підвищеним вильотом у нижньому і горизонтальному положеннях при виконанні стикових швів з обробкою кромок. При цьому досягається значне підвищення продуктивності праці (коефіцієнт наплавлення збільшується на 20–30 %).

Швидкість зварювання вертикальних швів таврових з'єднань можна підвищити при виконанні процесу зверху вниз.

Для зварювання середньолегованих сталей цей спосіб має обмеження за номенклатурою зварюваних сталей. При виготовленні виробів із висо-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

коміцної сталі 30ХГСА рівноміцність зварного шва, біляшовної зони і всього зварного з'єднання досягається після повної термічної обробки після зварювання.

Високолеговані сталі, які містять у своєму складі елементи, високоактивні до кисню (алюміній, титан, ніобій тощо), потрібно зварювати лише в інертних газах. В інших випадках можна застосовувати суміш аргону з киснем у комбінації з відповідними зварювальними дротами – Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-13Х2МФТ, Св-04Х2МА, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2М, Св-10ХН2ГМТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08ХН2ГМТА, Св-08ХН2ГМЮ, Св-08ХН2Г2СМЮ, Св-06НЗ, СВ-10Х5М; високолегований – Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х16Н8М2, Св-08Х18Н8Г2Б, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-05Х19Н9ФЗС2, Св-07Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-06Х19Н10М3Т, Св-08Х19Н10М3Б, Св-04Х19Н11М3, Св-06Х20Н 11М3ТБ, Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н12Г2Т, СВ-06Х25Н12ТЮ, Св-ХН75М6ТЮ, Св-08Х25Н13БТЮ, Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-08Х21Н10Г6, Св-30Х25Н16Г7, Св-10Х16Н25АМ6, Св-09Х16Н25М6АФ, Св-01Х23Н28М3Д3Т, Св-Х15Н60, Св-30Х15Н35В3Б3Т, СВ-08Н50, Св-06Х15Н60М15, Св-08Х14ГНТ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-05Х20Н9ФБС, Х20Н80.

У марках дроту букви «Св» означають зварювальний, після дефіса вказано склад сталі. У дроті Св-08АА вміст сірки і фосфору менший, ніж в Св-08А. За спеціальним замовленням виготовляють дріт зі сталі, виплавленої у вакуумно-індукційних печах (ВІ), електрошлаковим способом (Ш) і вакуумно-дуговим переплавом (ВД). Поверхня низьковуглецевого і легованого дроту може бути вкрита шаром міді. Шифри цих додаткових вимог позначають у марці дроту після складу сталі.

У деяких випадках як захисний газ для зварювання корозійностійких сталей, коли до виробів ставляться вимоги забезпечення загальної корозійної стійкості, можна використовувати вуглекислий газ чи його суміші з киснем або аргоном.

Мідь і її сплави зварюють в аргоні, гелії і азоті. З метою економії аргону і підвищення продуктивності праці рекомендується використання газової суміші 70–80 % Ar і 30–20 % азоту. Проте найкраще формування шва досягається при зварюванні в аргоні і гелії. Як присадка використовується дріт з кремнисто-марганцевої бронзи БрКМцЗ-1. Перед початком процесу потрібно підігріти кромки до 200–500°С.

Для механізованого зварювання високоміцної корозійностійкої бронзи марки БрАНМцЖ-8,5-4-4-1,5 розроблено спеціальний композитний дріт,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

що забезпечує одержання у зварному шві того ж самого складу на параметрах режиму: d_e = 2,8 мм, $I_{зв}$ = 350–380 А, $U_д$ = 24–26 В, Q_{Ar} = 16–17 л/хв.

Титан і його сплави товщиною більше 4 мм зварюють у середовищі лише інертних газів найвищого ступеня чистоти. Розміри зварних швів і їх формування залежить від газу. В гелії шви мають більш плавний перехід підсилення до основного металу, в аргоні проплавлення шва глибше і вужче. Рекомендується виконувати зварювання присадним дротом марки ВТ1-00.

Для зварювання в монтажних умовах рекомендується використовувати імпульсно-дуговий процес з використанням гелію.

Зварювання має виконуватися у наметі, щоб виключити здування захисного струменя з плавильного простору. В усіх інших випадках треба користуватися камерою з контрольованою атмосферою.

Алюміній і його сплави товщиною більше 4 мм зварюють у середовищі аргону або в суміші 30 % Ar + 70 % He. Як присадний дріт використовуються сплави типу АМц і АМг, а також матеріали зі складом, близьким до основного металу.

Порівняно зі зварюванням вольфрамовим електродом зварні шви мають знижену на 15 % міцність внаслідок більшого перегрівання електродного металу при переході через дуговий проміжок, але перевагою є надійне перемішування зварювальної ванни й очищення її від оксидних включень, а також більша продуктивність. Останній параметр можна значно підвищити, застосовуючи імпульсно-дуговий процес. Уведення модифікаторів (цирконію, титану, бору) у дріт збільшує стійкість зварних швів до кристалізаційних тріщин.

При зварюванні високолегованих термічно зміцнюваних сплавів міцність може знижуватись майже наполовину, тому після зварювання вироби треба піддавати термічний обробці – гартуванню з подальшим старінням. Підвищення стійкості до втоми з'єднання досягається зняттям підсилення зварного шва.

Магнієві сплави зварюють плавким електродом в аргоні, що є доцільним для товщин металу, починаючи з 6 мм. Кращі результати можна одержати на параметрах режиму зварювання, що відповідають струминному переносу металу.

Слід мати на увазі, що швидкість плавлення магнієвого дроту вдвічі більша, ніж алюмінієвого при тій же величині зварювального струму.

Надійний захист забезпечується при відстані від сопла до поверхні виробу і від струмоведучого мундштука до зрізу сопла відповідно 10–15 і 5–10 мм. Листи товщиною до 5 мм зварюють встик без розчищення кромок, 10–20 мм – з V-подібним розчищенням з кутом 50–60° і притупленням 2–6 мм, більше 20 мм – з X-подібним розчищенням з кутом 60–80° і притупленням 2–3 мм. Вісь електрода становить кут 90° до виробу при зварюванні стикових з'єднань без розчищення або з невеликим розчи-

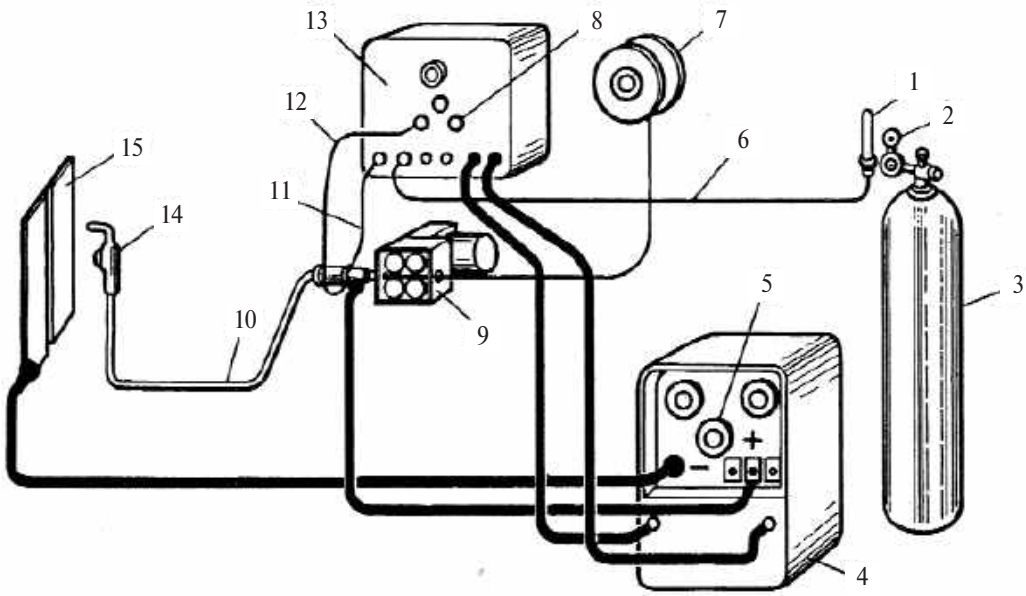
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

щенням. При більшій глибині розчищення зварювання ведуть кутом вперед з кутом 7–15° до вертикалі.

Імпульсно-дугове зварювання рекомендується виконувати в газовій суміші 75 % Ar + 25 % He.

7.2.3. Обладнання для механізованого зварювання та його технічні характеристики

Зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів виконується за допомогою напівавтоматів і автоматів, причому найпоширенішими є перші. Основні складові частини установки для напівавтоматичного зварювання показано на мал. 7.11.

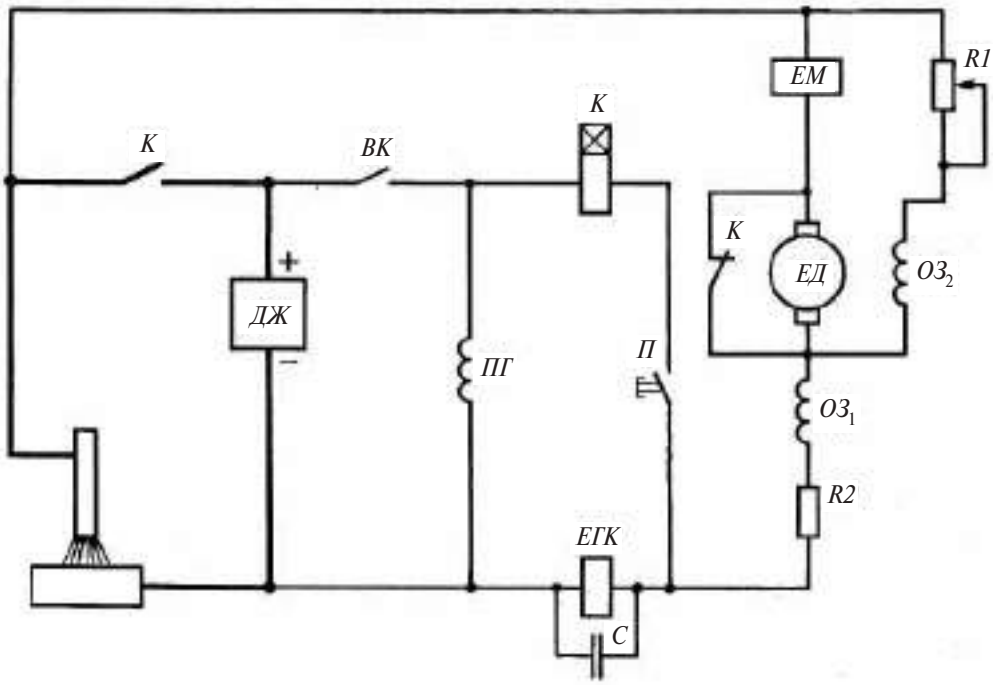


Мал. 7.11. **Монтажна схема установки для напівавтоматичного зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу:**
1 – ротаметр; 2 – редуктор; 3 – балон; 4 – джерело живлення; 5 – рукоятка регулювання напруги; 6 – газовий шланг; 7 – котушка з дротом; 8 – тумблер; 9 – подавальний механізм; 10 – подавальний шланг; 11 – магістраль подачі газу до пальника; 12 – провід керування; 13 – шафа керування; 14 – пальник з кнопкою; 15 – виріб

Зварювальний дріт 7 подається з котушки за допомогою подавального механізму 9 по спеціальному шлангу 10 до пальника 14. Джерело 4 живить як зварювальну дугу, яка горить між дротом пальника 14 і виробом 15, так і систему керування, що вмикається тумблером 8. У шафі керування 13 розташовані елементи пускорегулювальної апаратури: джерело живлення подавального механізму, рукоятка регулювання швидкості подачі дроту, електрогазовий клапан тощо. Захисний газ надхо-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дить із балона 3 через редуктор 2 і ротаметр 1 по шлангу 6 до шафи керування на електрогазовий клапан. Ця магістраль до початку зварювання заповнена газом. Від електрогазового клапана до подавального шланга, а потім до пальника 14 газ надходить по магістралі подачі газу 11, яка перед зварюванням заповнена повітрям. Шафа керування і подавальний шланг, а також кнопка, яка є на пальнику, з'єднуються проводами керування 12. На джерелі живлення знаходиться рукоятка регулювання величини напруги на дузі 5 і прилади контролю електричних параметрів зварювання, амперметр і вольтметр. При зварюванні в середовищі CO_2 на газовій магістралі після вентиля балона встановлюються підігрівач і осушник газу. Принципова електрична схема наведена на мал. 7.12.



Мал. 7.12. **Типова принципова електрична схема напівавтомата для зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів**

Вмиканням вимикача ВК готується для подальших дій ланцюг керування і вмикається підігрівач газу ПГ, який є обов'язковим приладом при зварюванні в середовищі CO_2. Завдяки йому запобігається замерзання каліброваного отвору діаметром 0,6–0,8 мм у редукторі, де знижується температура при розширенні газу. При зварюванні в інертних газах наявність підігрівача не обов'язкова.

При натисканні на кнопку *П* («пуск») на рукоятці пальника замикається ланцюг, в якому є котушка контактора *К* сповільненої дії і електрогазовий клапан *ЕГК*. Газ одразу починає надходити до пальника, ви-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тісняючи повітря з магістралі від *ЕГК* до пальника. Одночасно з цим заряджається конденсатор *С*, встановлений паралельно *ЕГК*.

Через 2–5 с спрацьовує контактор *К* і зварювальний дріт подається до виробу двигуном постійного струму *ЕД* ($ОЗ_1$ і $ОЗ_2$ – обмотки збудження двигуна, *R*2 – сталий опір), з'єднаним з редуктором муфтою *ЕМ*, одночасно вмикається зварювальний струм від джерела живлення *ДЖ*, виникає дуга, і починається процес зварювання. Дріт подається у плавильний простір двигуном *ЕД*, швидкість обертання якого і, відповідно, швидкість подачі дроту регулюються за допомогою реостата *R*1. По закінченні зварювання зварник відпускає кнопку *П*, зварювальний дріт і струм вимикаються, але газ ще кілька секунд надходить до зварювальної ванни, захищаючи її від навколишнього повітря за рахунок живлення *ЕГК* конденсатором до його повної розрядки.

Одночасно з відпусканням кнопки *П* замикається контакт контактора *К* в ланцюгу ротора двигуна, який швидко гальмується. Це необхідно для забезпечення постійної величини вильоту електрода. Існують й інші схеми роботи напівавтоматів, де живлення ланцюга керування не залежить від джерела живлення зварювального ланцюга.

Загальний вигляд апарата для напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів (МІГ-МАГ) показано на мал. 7.13, *а* (МІГ – в інертних газах, МАГ – в активних газах).

Дуже важливим елементом у роботі напівавтомата є надійність подачі електродного дроту спеціальним механізмом по шлангу до пальника.

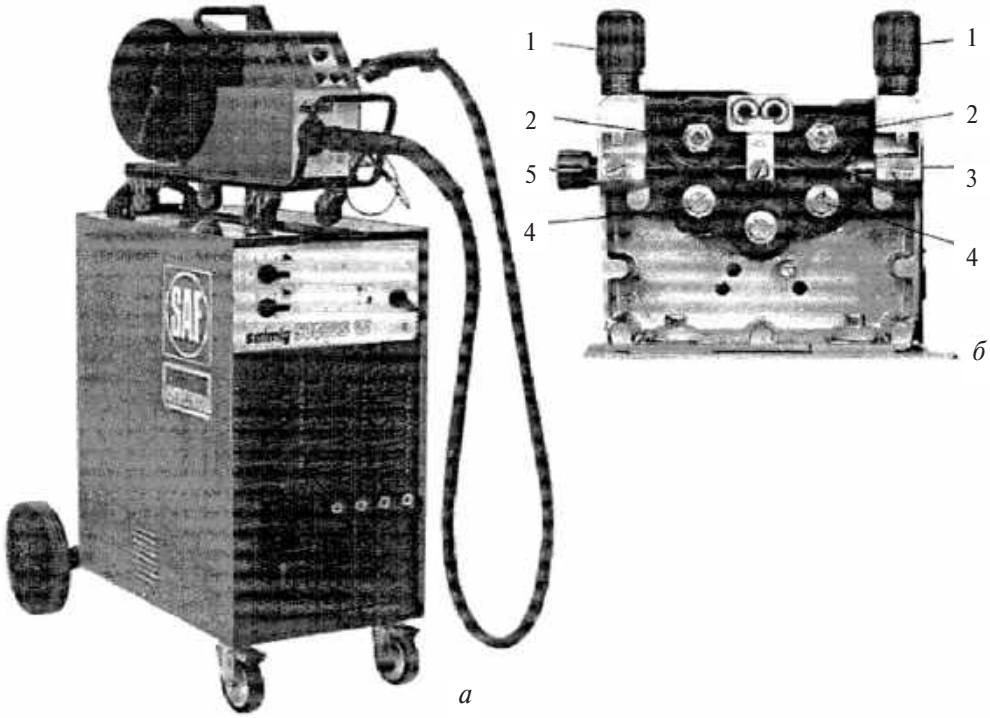
Оскільки переважна більшість подавальних механізмів проштовхує дріт до пальника по шлангу, потрібне зусилля досягається притисканням дроту двома роликами. Ця схема спрощує подавальний механізм, зменшує його габаритні розміри і вагу. Проте подача дроту, особливо тонкого і нежорсткого, вимагає значних зусиль притискання, що спричиняє його деформацію, затруднює проходження напрямного каналу в шланзі, призводить до його передчасного зношування, а іноді й унеможливлює надійну постійну роботу. Тому зараз існує тенденція виготовлення 4-роликових подавальних механізмів, що значно поліпшує надійність подачі електродного дроту (мал. 7.13, *б*).

У разі потреби зварювання дуже тонким дротом, особливо при зварюванні алюмінію і його сплавів, використовують мініатюрні подавальні механізми, розташовані на самому пальнику навіть із дротом на касеті (мал. 7.14).

Подавальний механізм з'єднується з пальником шлангом, по якому транспортується зварювальний дріт, подається зварювальний струм, струм ланцюга керування, захисний газ і, в разі потреби, вода, що охолоджує сопло пальника. Останнє має місце при зварюванні на струмах вище 350–400 А. Будову робочої частини пальника показано на мал. 7.15. Деякі зарубіжні фірми виготовляють пальники, в яких наконечник між рукояткою і соплом виготовлений з еластичного гнучкого матеріалу, що

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дає змогу вигинати сопло під кутом різної величини для зручності досягнення будь-якого місця зварювання.



Мал. 7.13. **Напівавтомат Safmig 500 BLS (*а*) і 4-роликовий пристрій його подавального механізму (*б*) фірми «AIR-LIQUIDE Group»:**
1 – рукоятка регулювання зусилля притискання; 2 – притискаючий ролик; 3 – дріт, що надходить з касети; 4 – ведучий ролик; 5 – дріт, який подається у шланг

Мал. 7.14. **Пальник з подавальним механізмом тягнучого типу фірми «Miller Elektric» (США)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Мал. 7.15. **Будова робочої частини пальника для зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів:**
1 – рукоятка; 2 – наконечник; 3 – патрон сопла; 4 – розсікач; 5 – мундштук; 6 – сопло; 7 – отвір для подачі газу

Існують дві тенденції комплектації поста для напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів плавким електродом. Згідно з першою, напівавтомат (подавальний механізм, шафа керування, пальник з напрямним шлангом) поєднується з будь-яким джерелом живлення. Це дає змогу гнучко використовувати апарат, мобільно переміщувати його залежно від вимог виробництва. За іншою тенденцією, в одному корпусі встановлюється і джерело живлення, і напівавтомат, що більш відповідає умовам стаціонарної експлуатації.

Конструкція і апаратура керування подавальними механізмами забезпечує стабілізацію швидкості подавання зварювального дроту і зворотний зв'язок за напругою на двигуні подачі дроту, що уможливлює якісне зварювання на відстані до 40 м від джерела живлення, надійну подачу зварювального дроту при довжині шланга 3–5 м і його вигинах. Апаратура здатна забезпечити зварювання на режимах: «довгі шви», «короткі шви», «м'який старт», «час розтягнення дуги» тощо, комплектується дуже надійним і зручним в роботі німецьким пальником фірми «Binzel», здатна бути підключена до будь-якого типу джерел живлення через блок БП-02.

Досвід експлуатації напівавтоматів свідчить про необхідність мати деякий запас напрямних каналів і пальників.

Змінні канали для подачі дроту дають можливість значно подовжити термін експлуатації зварювальних пальників зі шлангами при зміні засмічених каналів. Як змінні канали використовують спіралі зі сталевого дроту або стрічки. Для зварювання дротом з алюмінієвих сплавів та корозійностійких сталей часто застосовують канали з тефлону, поліетилену або нейлону.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Автоматичне зварювання в середовищі захисних газів плавким електродом використовується менше, ніж напівавтоматичне, головним чином при виготовленні товстих виробів, де зварні шви мають значну довжину (більше 1 м).

Автоматичне зварювання передбачає автоматизацію процесів збудження та підтримки стійкого горіння дуги, подавання дроту до зони плавлення, переміщення дуги у заданому напрямі вздовж зварюваних кромок із певною швидкістю, припинення зварювання і заварення кратера в кінці шва.

Автомати існують універсальні, загального призначення та спеціальні, самохідні та несамохідні, для зварювання плавкими і неплавкими електродами, під флюсом, електрошлаковим способом, в захисних газах, з плавним, ступеневим та плавноступеневим регулюванням швидкості зварювання і подавання електродного дроту, для зварювання з вільним або примусовим формуванням швів, одно-, дво- та багатодугові, з незалежною від напруги на дузі подачею та із залежною від напруги на дузі подачею дроту тощо.

Конструкція автоматів складається з механізмів подавання електродного дроту та переміщення дуги, допоміжних настроювальних та коригуючих переміщень; струмоведучих кабелів, мундштуків, пальників, правильних механізмів, касет для електродного дроту, пристроїв для заварювання кратера, апаратури для подавання газу або дроту, систем керування та засобів безпеки праці.

Зварювальні автомати загального призначення випускаються тракторного типу й у вигляді зварювальних головок. Перші мають малу масу і габарити, жорстко не пов'язані з виробничою ділянкою в цеху і можуть використовуватись як у стаціонарних умовах, так і на монтажних майданчиках, усередині виробів. Вони можуть рухатись безпосередньо по виробу або по напрямних у вигляді кутика, «прихваченого» до поверхні виробу.

Зварювальні головки поділяють на самохідні і підвісні. Вони мають великі масу і габаритні розміри, рухаються по спеціальних напрямних рейках і можуть обслуговувати обмежену ділянку в цеху. Використовуються для зварювання великогабаритних конструкцій (балок коробчастого перерізу, обичайок, труб), приварювання виробів до листових конструкцій тощо, наплавлення зношених деталей.

Як джерела живлення можуть використовуватись апарати постійного струму з жорсткими і похилоспадними характеристиками.

Зварювання в захисних газах плавким електродом ширше використовується в роботизованих комплексах порівняно зі зварюванням неплавким електродом, оскільки збільшується діапазон застосовуваних газів і, відповідно, номенклатура зварюваних матеріалів. При цьому досягається найбільша продуктивність процесу – 18–22 г/(А · год).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Схема компоновки такого комплексу, виготовленого фірмою «Fronius», аналогічна наведеній на мал. 7.7 і поєднує блок подачі дроту діаметром 0,8–1,6 мм VR500, джерело живлення NRS 4000 з діапазоном зварювального струму 3–400 А, що працює як у режимі зварювання МІГ-МАГ, так і в імпульсному режимі. Як робот можна використовувати кілька марок різних фірм, наприклад KUKA, FANUC, KAWASAKI, PANASONIC тощо.

У табл. 7.3 наведено підсумкові відомості відносно можливості зварювання конструкційних матеріалів з урахуванням їх особливостей, специфіки способів і використання обладнання.

Таблиця 7.3

Можливості використання зварювання металів і сплавів у середовищі захисних газів

Матеріал	Спосіб зварювання					
	вольфрамовим електродом			плавким електродом		
	Постійний струм полярності		Змінний струм	Постійний струм полярності		Змінний струм
	прямої	зворотної		прямої	зворотної	
Низьковуглецеві сталі для конструкцій:						
невідповідального і звичайного призначення	–	–	–	–	+	–
особливо відповідального призначення	±	–	–	–	+	–
Середньовуглецеві низько- і середньолеговані сталі	±	–	–	–	+	–
Високолеговані сталі і сплави	+	–	±	–	+	–
Чавуни	±	–	–	–	–	–
Мідь і її сплави	+	–	±	–	±	–
Нікель і його сплави	+	–	–	–	–	–
Свинець	+	–	–	–	–	–
Титан і його сплави	+	–	–	–	+	–
Алюміній і його сплави	–	–	+	–	+	–
Магній і його сплави	–	–	+	–	+	–

Примітка: «+» – зварювання доцільне; «±» – зварювання обмежене; «–» – зварювання недоцільне або відсутня надійна інформація.

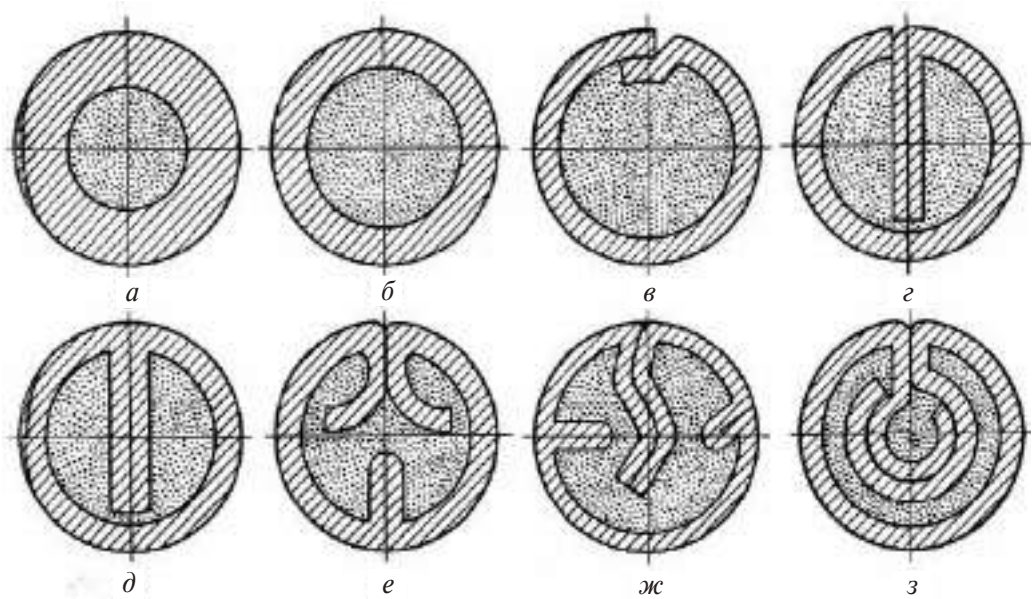
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

7.3. ЗВАРЮВАННЯ ПОРОШКОВИМ ДРОТОМ (114)

Незважаючи на широке використання зварювання в захисних газах, воно може бути успішно виконано лише в цехових умовах, де захист плавильного простору здійснюється найбільш ефективно. В той же час багато металоконструкцій виготовляють на відкритому повітрі в монтажних і польових умовах за допомогою покритих електродів вручну, малопродуктивним способом.

Для механізації зварювальних робіт розроблені порошкові дроти різного призначення, що дає змогу підвищити продуктивність зварювання в кілька разів і забезпечити достатньо високу якість зварних швів. *Порошковий дріт* – це безперервний електрод трубчатої або більш складної конструкції. Його оболонка виготовлена з низьковуглецевої стрічки і заповнена сумішшю порошкоподібних речовин – шихтою (мал. 7.16, *а–з*).

До складу шихти входять стабілізуючі, шлако- і газоутворюючі, розкислюючі і легуючі компоненти. З метою збільшення продуктивності праці й одержання хороших зварювальнотехнологічних властивостей наведено залізний порошок. Отже, шихта містить усі ті компоненти, які за призначенням вводять до складу покриттів електродів для ручного дугового зварювання. Найрозповсюдженіші дроти трубчатої конструкції (мал. 7.16, *а–в*). Вони прості у виготовленні. Дроти, де частина оболонки введена в середину осердя (мал. 7.16, *г–з*), забезпечують більшу жорсткість і рівномірність плавлення дроту і, відповідно, вищу якість шва, хоча складніші у виготовленні.



Мал. 7.16. **Різновиди конструкцій порошкових дротів**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Порошкові дроти використовують як для зварювання відкритою дугою, так і для зварювання під флюсом і електрошлакового зварювання та зносостійкого наплавлення.

7.3.1. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання

Схема процесу зварювання самозахисним порошковим дротом відкритою дугою показана на мал. 7.17. Зварювальна дуга горить між оболонкою 6 порошкового дроту і виробом 4. Внаслідок того, що весь зварювальний струм проходить по оболонці, вона плавиться в першу чергу і частково разом з нею йде плавлення й осердя 5 з утворенням крапель 3, які змішуються з розплавленим основним металом у зварювальній ванні 2. Внаслідок відведення тепла в основний метал йде кристалізація, утворюється зварний шов 1. Газо- і шлакоутворюючі компоненти, розплавляючись у дузі і зварювальній ванні, здійснюють фізичний захист плавильного простору, відтісняючи від нього повітря й утворюючи рідкий шлак 7 і тверду шлакову кірку 8. При трубчастій конструкції дроту частина шихти може попадати у зварювальну ванну нерозплавленою, і вже у ванні закінчується процес плавлення шихти. Це може бути причиною нерівномірного розподілу окремих елементів по довжині і висоті зварного шва і навіть виникнення дефектів. Крім того, компоненти шихти внаслідок різної густини схильні до сепарації, а наявність нещільності оболонки призводить до можливості їх просипання при вигинах дроту.

Попереднє спікання (агломерація) компонентів і виготовлення безшовного дроту (фірма «AIR-LIQUIDE Group») запобігає висипанню матеріалу осердя і проникненню до нього вологи, що поліпшує якість зварного шва.

Оптимальним є одночасне плавлення оболонки і шихти, коли вже на стадії краплі одержується майже готовий сплав відповідного складу. Цього можна досягнути, використовуючи дріт складної конструкції або трубчастий дріт малого діаметра. Такий дріт дає змогу збільшити кількість матеріалу оболонки у формуванні краплі.

Основні параметри режиму зварювання порошковими дротами розглянуто нижче.

Рід струму, полярність – зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності, так забезпечується стабільніше горіння дуги і менше розбризкування.

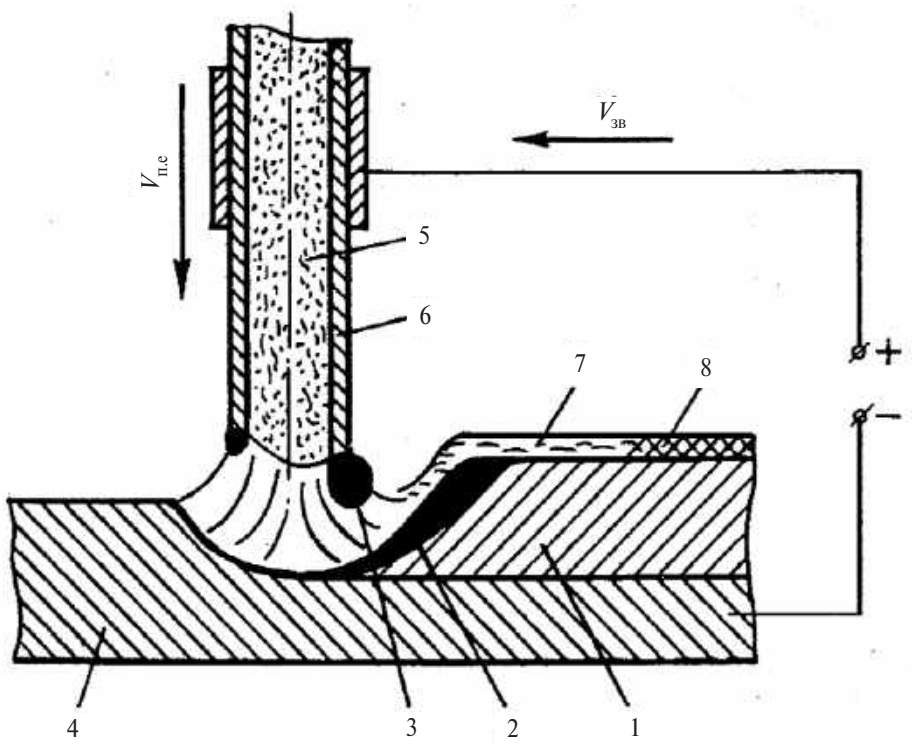
Діаметр електродного дроту d_e – знаходиться у межах 0,8–3,5 мм.

Сила зварювального струму $I_{зв}$, 110–500 А, – залежить від діаметра дроту і просторового положення при зварюванні.

Напруга на дузі $U_д$, від 18 до 35 В, – визначається складом шихти, діаметром електрода, просторовим положенням при зварюванні.

Виліт електрода l_e, знаходиться у межах 15–60 мм, – залежить від діаметра електрода, складу його шихти.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 7.17. **Схема зварювання самозахисним порошковим дротом**

Витрата газу Q_{CO_2}, у разі зварювання з використанням захисного газу CO_2, 8–20 л/хв, – залежить від діаметра електрода, сили зварювального струму, просторового положення зварювання.

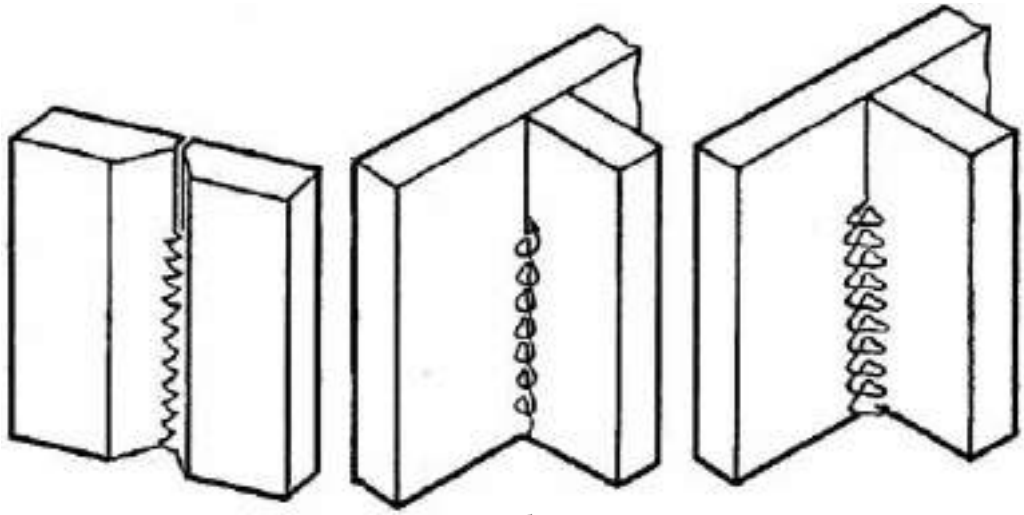
Техніка зварювання порошковим дротом дещо відрізняється від техніки зварювання суцільним дротом у CO_2. Для надійного збудження дуги первинний виліт дроту карбонатно-флюоритного типу не повинен перевищувати 30 мм, а для дроту рутил-органічного типу первинний виліт встановлюється не більше 15–20 мм, після чого він має дорівнювати рекомендованим далі значенням.

При зварюванні стикових швів дріт встановлюється перпендикулярно до виробу або «кутом назад» з відхиленням від вертикалі до 15°.

При зварюванні таврових швів внапустку кут між полицею і дротом встановлюється таким, що дорівнює 45–60° для дротів рутил-органічного типу і 30–45° для дротів карбонатно-флюоритного типу. Збуджувати дугу знову треба на відстані 10–15 мм від місця обриву і переносити її на незаплавлений кратер. Припиняти зварювання треба, заварюючи кратер швидкими поперечними коливаннями дроту, після чого різко обривати дугу, виконання вертикальних і горизонтальних швів можливо при використанні дротів діаметром не більше 2–2,3 мм. Зварювання вертикальних

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

швів виконується способом знизу уверх з обов'язковим маніпулюванням кінцем дроту для забезпечення сприятливої форми шва (мал. 7.18). При цьому не можна обривати дугу, бо у шві утворяться дефекти.



а *б* *в*

Мал. 7.18. **Схема маніпулювання кінцем порошкового дроту при зварюванні вертикальних кореневих стикових (*а*) і кутових швів відповідно малого (*б*) і великого (*в*) перерізу**

Техніка зварювання порошковим дротом у середовищі CO_2 така ж сама, як і для самозахисних дротів.

7.3.2. Матеріали і технологія зварювання сталей, чавуну і кольорових металів

Зварювання металоконструкцій звичайного призначення може виконуватись із використанням самозахисних дротів рутил-органічного типу. Дроти карбонатно-рутилового типу рекомендуються для зварювання низьколегованих сталей. Якщо йдеться про зварювання конструкцій особливо відповідального призначення, використовуються порошкові дроти для зварювання в середовищі CO_2, при цьому забезпечується стабільніше горіння дуги, особливо при зварюванні на малих струмах, зменшується розбризкування і досягається висока якість зварних швів. Вибір потрібної марки порошкового дроту залежить від вимог до рівня механічних властивостей і способів зварювання.

Треба мати на увазі, що при зварюванні внаслідок розбризкування можна пошкодити пришовну зону, що призведе до погіршення властивостей основного металу, тому потрібно зробити все можливе для її захисту, наприклад, нанести спеціальні лакофарбові покриття. Бризки, пада-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ючи на покриття, витрачають частину енергії на його руйнування, не зварюючись з металом, і легко відокремлюються від поверхні.

Найпростіші з покриттів – розчин рідкого скла з крейдою. Складніші містять епоксидно-поліамідні смоли з цинковим пилом, полівінілбутераль з домішками алюмінію і цинку, спеціальні ґрунти, які наносяться на металопродукцію на металургійних підприємствах, наприклад, ґрунт дельталь тощо.

Механізоване гаряче і холодне зварювання чавуну можна виконувати за допомогою самозахисних порошкових дротів марок ППЧ-3М, ППЧВ-1 діаметром 3–3,5 мм, призначених для гарячого заварювання дефектів на оброблюваних поверхнях чавунів феритно-перлітних сірих та з кулястим графітом. Для холодного зварювання і заварювання дефектів тонкостінних виробів із сірого та високоміцного чавунів застосовують високонікелевий сплав, тягнутий як самозахисний дріт марки ПАНЧ-11 суцільного перерізу діаметром 1 мм. При цьому треба додержуватися таких техніки і технології ведення процесу, як і при ручному зварюванні покритими електродами.

Механізоване зварювання міді незахищеною дугою товщиною до 10 мм можна виконувати, використовуючи спеціально розроблений дріт марки МРзКМцТ 0,3-0,3-0,1-0,3. Цей дріт суцільного перерізу комплексно легований рідкоземельними елементами і сильнодіючими розкислювачами, завдяки чому забезпечується не лише стабільне горіння дуги на повітрі, але і краще формування шва без пор і тріщин, тому зварні шви на міді мають задовільні механічні характеристики.

7.3.3. Обладнання для механізованого зварювання та його технічні характеристики

Напівавтоматичне зварювання порошковим дротом можна здійснювали з використанням як спеціальних апаратів А-765, ПДГО-508С тощо, так і напівавтоматів для зварювання в захисних газах, наприклад ПДГ-351. Обов'язковою умовою для апарата в останньому випадку повинна бути наявність чотирьох подавальних роликів, щоб не пошкодити дріт, який має малу жорсткість і може втрачати шихту через стик оболонки при вигинах. У цьому разі не потребується сопло на пальнику. Для автоматичного зварювання можна використовувати апарати для зварювання як під флюсом, так і в середовищі захисних газів з двома подавальними роликами, оскільки шлях дроту до зварювальної ванни короткий і прямолінійний, без вигинів. Як джерело живлення використовуються ті самі апарати, що і для зварювання в захисних газах.

З урахуванням особливостей конструкційних матеріалів, специфіки способів і використання обладнання в табл. 7.4 наведені підсумкові відомості стосовно можливості їх зварювання.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 7.4

Можливості використання зварювання порошковим дротом металів і сплавів

Найменування матеріалів	Спосіб зварювання					
	в захисних газах			відкритою дугою		
	Постійний струм полярності		Змінний струм	Постійний струм полярності		Змінний струм
	прямої	зворотної		прямої	зворотної	
Низьковуглецеві сталі, для конструкцій:						
невідповідального і звичайного призначення	–	+	–	–	+	–
особливо відповідального призначення	–	±	–	–	–	–
Середньовуглецеві низько- і середньолеговані сталі	–	±	–	–	±	–
Високолеговані сталі і сплави	–	±	–	–	±	–
Чавуни	–	–	–	–	+	–
Мідь і її сплави	–	–	–	–	+	–

Примітка: «+» – зварювання доцільне; «±» – зварювання обмежене; «–» – зварювання недоцільне або відсутня надійна інформація.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть і параметри режиму зварювання вольфрамовим електродом у захисних газах?
2. З яких міркувань вибирають захисний газ для зварювання?
3. Які особливості техніки зварювання вольфрамовим електродом у різних просторових положеннях?
4. Які існують різновиди зварювання вольфрамовим електродом?
5. Які матеріали і технології застосовують для зварювання конструкційних металів?
6. Яке сучасне обладнання застосовується для зварювання вольфрамовим електродом? Які його функціональні можливості?
7. Які пальники використовують для ручного і механізованого зварювання вольфрамовим електродом?
8. У чому полягає суть зварювання плавким електродом у захисних газах? Які параметри режиму? Які переваги і недоліки?
9. З яких міркувань вибирають захисний газ при зварюванні?
10. Яка техніка напівавтоматичного зварювання плавким електродом у різних просторових положеннях?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

11. Які матеріали і технологію використовують для зварювання сталей?
12. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання кольорових металів?
13. Яке обладнання призначене для механізованого зварювання плавким електродом?
14. Які особливості будови пальників для напівавтоматичного зварювання?
15. Яким чином позначається обладнання для механізованого зварювання?
16. Що таке порошковий дріт? Яка його будова?
17. У чому полягає суть зварювання порошковим дротом? Які параметри режиму? Які переваги і недоліки цього способу?
18. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання порошковим дротом сталей, чавунів і кольорових металів?
19. У чому полягає суть плазмового зварювання дугою прямої дії?
20. У чому полягає суть плазмового зварювання дугою непрямої дії?
21. У чому полягає суть плазмового зварювання комбінованим способом?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

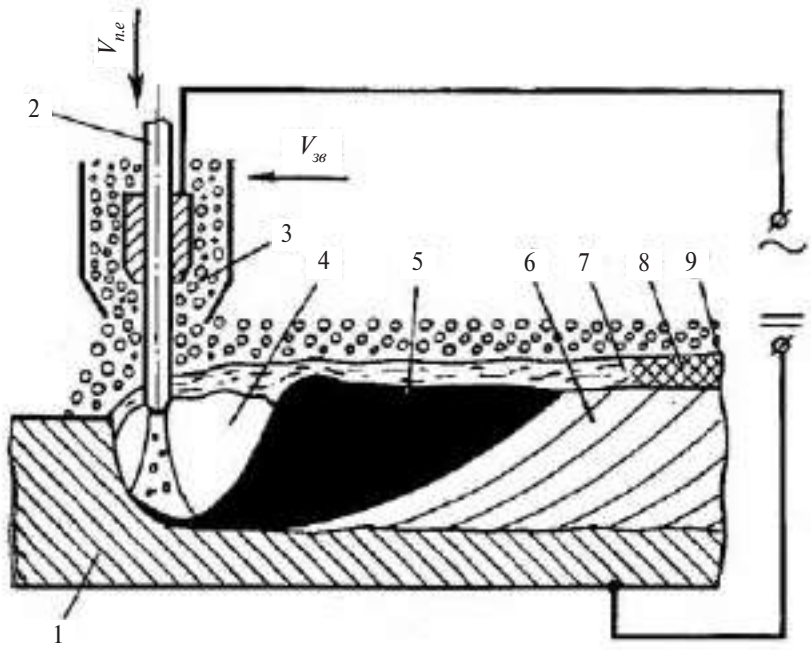
Розділ 8

АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ (12)

Вченими Інституту електрозварювання АН УРСР під керівництвом Є. Патона на початку 1940-х років було розроблено новий спосіб механізованого зварювання – автоматичне зварювання під флюсом. Завдяки збільшенню потужності зварювальної дуги, надійному захисту плавильного простору від повітря вдалося в кілька разів підвищити продуктивність процесу, забезпечити високу якість зварного шва, покращити умови праці і значно знизити витрати електродних матеріалів і електроенергії.

8.1. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Схема процесу автоматичного зварювання металів під флюсом показана на мал. 8.1.



Мал. 8.1. **Схема автоматичного зварювання під флюсом**

Зварювальна дуга горить між голим електродним дротом 2, що подається спеціальним механізмом зі швидкістю $V_{n.e}$, і виробом 1. Одночасно в плавильний простір надходить флюс 3 – порошкоподібна речовина,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

яка, розплавляючись, утворює газофлюсовий пухир 4. У ньому і плавиться електродний дріт і основний метал. Змішуючись, вони утворюють зварювальну ванну 5, яка в процесі кристалізації перетворюється у зварний шов 6. Тиск у пухирі більший, ніж у навколишній атмосфері внаслідок виділення газів з металу і флюсу при їх розплавлянні й утворенні пари цих компонентів. Отже, повітря не може проникнути до плавильного простору. Рідкий шлак 7, який є зовнішньою оболонкою пухиря, накриває зварювальну ванну, твердий метал шва і шлак кристалізується в останню чергу у вигляді кірки 8, поверх якої знаходиться нерозплавлений флюс 9. Останній транспортується у бункер для флюсу за допомогою пневматичного пристрою-флюсовідсосу. Підвищення продуктивності праці досягається за рахунок використання більших сил струму (до 1500–2000 А) порівняно з ручним дуговим зварюванням (350–400 А). Це дає змогу збільшити проплавну дію дуги і зварити метал товщиною до 15–16 мм з одного боку без розчищання кромок, внаслідок чого частка основного металу в шві зростає до 70 %, а наявність газофлюсового пухиря зводить до 1–3 % витрати металу на угар, розбризкування і випарювання. Поверхня пришовної зони вільна від бризок, а зварний шов має постійні розміри у поперечному і поздовжньому перерізах, його склад і властивості по всій довжині постійні.

Зварнику нема потреби користуватися маскою – дуга невидима під шаром флюсу, а процес навчання кваліфікації зварника-автоматника потребує значно менше часу порівняно з навчанням зварника, що працює вручну. Недоліком цього прогресивного і високопродуктивного процесу є можливість його використання лише в нижньому і дещо обмежено вертикальному і горизонтальному положеннях, а також його неефективність при зварюванні швів коротких, складної конфігурації і тих, що знаходяться у важкодоступних місцях. Напівавтоматичне зварювання під флюсом поступово було витіснене зварюванням у захисних газах як більш зручний і продуктивний спосіб. Автоматичне зварювання дуже ефективне для виконання довгих швів на товстолистовому металі, при зносостійкому наплавленні, а підвищити його продуктивність ще більше можна завдяки використанню кількох електродів, кожний з яких підключений до свого джерела живлення. За таких умов збільшується швидкість зварювання до 180–200 м/год.

Основними параметрами режиму автоматичного зварювання під флюсом є такі.

Рід струму, полярність – зварювання може бути виконано на трьох різновидах цього параметра; міркування щодо переваг і недоліків ті ж самі, що і при ручному зварюванні, але у зв'язку з більшими значеннями зварювального струму посилюються фактори продуктивності процесу (більша на прямій полярності постійного струму) і глибини проплавлення (більша на зворотній полярності постійному струму).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Діаметр електродного дроту залежить від товщини зварюваного металу, номера проходу при багатошаровому зварюванні; знаходиться у межах 2–5 мм.

Сила зварювального струму $I_{зв}$ визначається діаметром електрода і глибиною проплавлення, знаходиться у межах 200–1000 А (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Залежність сили зварювального струму, А, від діаметра електродного дроту Св-08 і потрібної глибини проплавлення при зварюванні під флюсом АН-348А

Діаметр дроту, мм	Глибина проплавлення, мм						
	3	4	5	6	8	10	12
2	200	300	350	400	500	600	700
3	300	350	400	500	625	750	875
4	375	425	500	550	675	800	925
5	450	500	550	600	725	825	930

Напруга на дузі $U_д$ залежить від сили зварювального струму, діаметра електродного дроту, роду струму, полярності, складу зварювального флюсу; знаходиться у межах 30–45 В.

Швидкість зварювання $V_{зв}$ визначається величиною погонної енергії, залежить від кількості дуг (при однодуговому зварюванні знаходиться у межах 20–70 м/год, при дво- і тридуговому збільшується до 150–180 м/год).

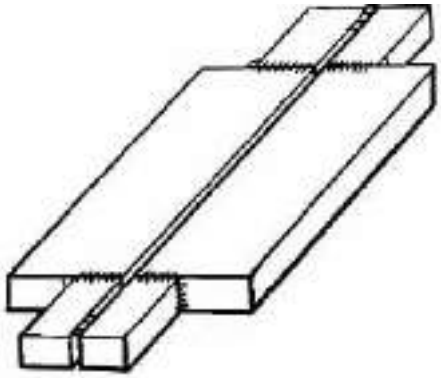
Виліт електрода l_e залежить від діаметра електрода, електротеплофізичних характеристик присадного матеріалу. Виліт знаходиться у межах 20–100 мм.

Підготовка кромок деталей для автоматичного зварювання під флюсом виконується згідно з ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 2. Зварювання сталей під флюсом. Для запобігання появі дефектів починають зварювання і закінчують його на спеціальних вивідних планках завширшки до 150 мм і завдовжки до 250 мм (мал. 8.2), що мають такі ж товщину і параметри розчищення, як і основний метал. Після зварювання планки вилучаються.

Для запобігання витіканню в зазор між зварюваними кромками розплавленого металу і шлаку використовують різні прийоми, забезпечуючи формування кореня шва. Це може бути попереднє підварювання – ручне або механізоване, використання підкладок, які можуть бути незнімні, якщо це допускається умовами експлуатації виробу, або знімні – мідні, керамічні або скловолоконні. В останньому випадку потрібне

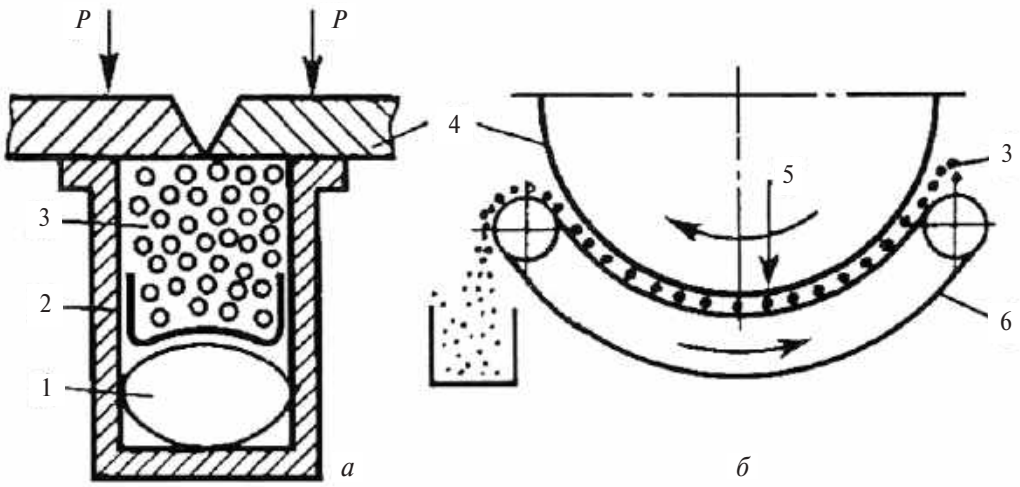
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

надійне притискання підкладок до зварюваних деталей так, щоб зазор не перевищував 0,5 мм.



Мал. 8.2. **Схема установки кінцевих або вивідних планок**

Застосування зварювання на флюсовій подушці для прямолінійних швів або флюсопасової подушки для кільцевих швів (мал. 8.3) забезпечує повний провар кромок, якісне формування кореня шва при невисокій точності збирання кромок. Флюс під стиком піджимається стиснутим повітрям, яке подається шлангом 1, а при зварюванні кільцевих швів – спеціальною гнучкою стрічкою.



Мал. 8.3. **Схема зварювання на флюсовій (а) і флюсовій (б) подушках:**
1 – повітряний шланг; 2 – лоток; 3 – флюс; 4 – виріб; 5 – електрод; 6 – профільована гнучка стрічка

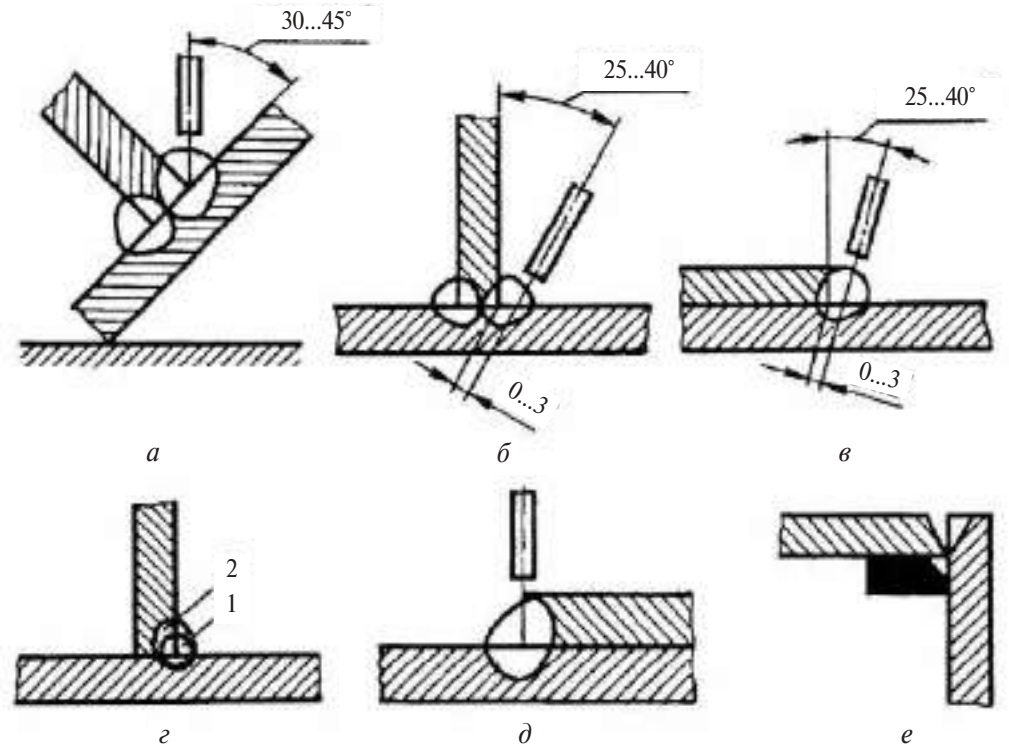
Зварювані кромки фіксуються навантаженнями або електромагнітами на спеціальних стаціонарних або пересувних стендах. Недоліками та-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

кого способу формування шва є ненадійність щільності підтискання флюсу під стик по всій його довжині. Якісне формування кореня шва забезпечує застосування спеціальних мідних водоохолоджувальних повзунів, які пересуваються незалежно від зварювальної головки, але синхронно з нею. Використовують такі повзуни, жорстко зв'язані зі зварювальним трактором, наприклад, як в установці ТС-44. Таким чином можна з одного боку зварити стиковий шов на металі товщиною до 15 мм. При більших товщинах рекомендується двобічне зварювання.

Зварювання кутових швів виконують в положенні «човником» або нахиленим електродом (мал. 8.4).

При зварюванні «човником» (мал. 8.4, *а*) можна за один прохід виконувати шви з катетом до 14 мм, нахиленим електродом – до 6 мм. Зварюючи таврові з'єднання і внапустку, нахилений електрод, щоб уникнути підрізу, треба зміщувати на полицю (мал. 8.4, *б, в*), а послідовність зварювання багатопрохідних швів має бути такою, як показано на мал. 8.4, *г*. З'єднання внапустку при товщині верхнього листа до 8 мм зварюють вертикальним електродом з оплавленням верхньої кромки (мал. 8.4, *д*), а в деяких випадках для усунення зазорів при зварюванні кутових з'єднань використовують мідні зйомні підкладки (мал. 8.4, *е*).



Мал. 8.4. **Техніка виконання кутових швів при автоматичному зварюванні під флюсом**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

8.2. МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

У процесі зварювання розплавлений флюс не тільки захищає плавильний простір від навколишнього середовища, але і сприяє підтриманню стабільного горіння дуги і якісному формуванню зварного шва. Існуючі флюси класифікуються за такими ознаками:

1) *призначення* – для зварювання вуглецевих сталей, алюмінію, титану тощо;

2) *хімічний склад* (табл. 8.2) – кислі (висококремнисті марганцеві), основні (низькокремнисті безмарганцеві) і безкисневі (безкремнисті безмарганцеві);

3) *спосіб виготовлення* – плавлені (всі первинні компоненти подрібнюються, змішуються, сплавляються у газополуменевих або електродугових печах, потім розливаються, подрібнюються і гранулюються до необхідної фракції) і керамічні (первинні компоненти змішуються з рідким склом, спікаються в печі, потім подрібнюються і гранулюються до потрібної фракції);

4) *будова і розмір часточок* – склоподібні (насипна вага 1,4–1,8 г/см^3), пемзоподібні (насипна вага 0,7–1,0 г/см^3) і кристалічні; часточки флюсу мілкозернистої фракції мають розмір зерен 0,1–1,6 мм, середньозернистої – 0,25–1,0 мм, крупнозернистої – 0,35–5,0 мм. Допускається деяка кількість пилевидної фракції. Склад плавлених флюсів для зварювання сталей і сплавів наведено в табл. 8.2.

Технологічність застосування флюсу для зварювання визначається його хімічним складом. Так, окислювальний високомарганцевий висококремнистий флюс, наприклад, марки АН-348А (41–44 % SiO_2; 34–38 % MnO: 6,5 % CaO; 5–7,5 % MgO; 4,5 % Al_2O_3; 2 % Fe_2O_3; 4–5,5 % CaF_2) забезпечує хорошу стабільність горіння дуги на будь-якому струмі будь-якої полярності, якісні формування шва і відокремлення шлакової кірки, але окислює легуючі елементи.

Основний низькокремнистий безмарганцевий флюс, наприклад, марки АН-20 (19–24 % SiO_2; 0,5 % MnO; 3–9 % CaO; 9–13 % MgO; 2732 % Al_2O_3; 1 % Fe_2O_3; 25–33 % CaF_2) потребує лише постійного струму зворотної полярності й під час надійного формування та відокремлення шлакової кірки забезпечує зберігання легуючих елементів.

Безкисневий безкремнистий безмарганцевий флюс, наприклад, ОФ6 (4 % SiO_2; 16–23 % CaO; 3 % MgO; 20–27 % Al_2O_3; 1,5 % Fe_2O_3; 4560 % CaF_2), як і попередні, потребує постійного струму зворотної полярності і при задовільному формуванні шва та відокремленні шлакової кірки забезпечує найкраще зберігання легуючих елементів, у тому числі і легкоокислюваних.

Вміст кожної зі шкідливих домішок сірки і фосфору знижується поступово від 0,15 % у флюсі АН-348А до 0,08 % у флюсі АН-20 і до 0,025 % у флюсі ОФ-6.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 8.2

Хімічний склад плавлених флюсів для зварювання і наплавлення (ГОСТ 9087-81)

Марка флюсу	Вміст компонентів, % за масою								
	SiO_2	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaF_2	P	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кисневі висококремнисті марганцеві									
АН-348А	41–44	34–38	≤6,5	5–7,5	≤4,5	2	4–5,5	0,15	0,12
ОСЦ-45	38–44	38–44	≤6,5	≤2,5	≤5	2	6–9	0,15	1,15
Основні низькокремнисті безмарганцеві									
АН-17	17–21	4–6	14–18	9–12	21–25	7,5–9,5	19–23	0,1	0,1
АН-22	18–22	7–9	12–15	12–15	19–23	1	20–24	0,05	0,05
АН-20С, АН-20П	19–24	≤0,5	3–9	9–13	27–32	1	25–33	0,08	0,05
АН-26С, АН-26П	29–33	2,5–4	4–8	15–18	19–23	1,5	20–24	0,1	0,1
Безкисневі безкремнисті безмарганцеві									
ОФ-6	4	–	16–23	≤3	20–27	1,5	45–60	0,025	0,025
АН-30	2–5	–	16–21	13–16	39–44	1	19–23	0,08	0,05
АН-70	8	–	25–35	–	30–40	–	20–30	0,09	0,05
Примітка. С – зерна флюсу склоподібні, П – пемзоподібні.									

Вибір потрібного флюсу залежить перш за все від складу сталі, яка зварюється, і вимог до властивостей зварного шва, а для усунення недоліків, притаманних технологічності флюсів для зварювання, відповідно підбираються параметри режиму і техніка виконання зварювання.

Вуглецеві сталі звичайної якості БСт2, ВСт2, ВСт3, ВСт3Гпс, БСт3Гпс, вуглецеві якісні 08, 08кп, 10, 10кп, 15, 15кп, 20, 20кп, 08Ю, 08Фкп, 08пс, вуглецеві мостові М16С, Ст3мост, вуглецеві котлобудівні 15К, 20К, 22К, вуглецеві литі 15Л, 20Л, зварювані корпусні С, 09 Г2, 10Г2СД, 10ХСНД, низьколеговані підвищеної міцності 09Г2, 14Г2, 12ГС, 16Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 10Г2Б, 14ГС, 10ХСНД, 15ХСНД, 15Г2АФДпс, 15ГФ зварюють, використовуючи висококремнисті марганцеві флюси марок АН-348А, ОСЦ45 і зварювальний низьколегований дріт згідно з табл. 7.6, а сталі 15Г2СФ, 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФпс, 10ХНДП – застосовуючи низькокремнисті флюси АНК-30, АН-47, і АН-22 з легованим дротом марок Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-10Г2.

Зварювання стикових швів без обробки кромок можливе при ручному підварюванні на флюсовій подушці, на флюсомідній підкладці або

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

мідному водоохолоджувальному повзуні. Для останнього використовується постійний струм прямої полярності (щоб не пошкодити повзун).

Зварювання під флюсом використовують як для виготовлення труб, так і для приварювання фланців до них.

Теплостійкі сталі перлітного класу належать до групи сталей з поганою зварюваністю. Вони дуже чутливі до термічного циклу зварювання і тому вимагають попереднього і супутнього підігрівання, а після зварювання – проведення термообробки для зняття зварювальних напружень – відпуску. Температура попереднього підігрівання і подальшого відпуску при зварюванні під флюсом наведена в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Температура, °С, попереднього підігрівання і відпуску при зварюванні сталей під флюсом

Температура, °С	Марка сталі					
	12ХМ	15ХМ	20ХМ	12Х1МФ	15Х1М1Ф	15Х2МФА
Попереднє підігрівання	150–200	200–250	200–300	250–350	250–350	300–350
Відпуск	680–700	700–720	710–730	730–760	730–760	730–760

З урахуванням вимог ідентичності складу електродного й основного металу флюси і дроти для зварювання конкретних теплостійких сталей мають відповідати рекомендаціям табл. 8.4.

Високоміцні сталі 14Х2МР, 14Х2ГМ і подібні до них зварюються під низькокремнистими флюсами марок АН-42, АН-47 дротами марок Св-08ХГСМА, Св-08ХН2ГМЮ, а леговані конструкційні марок 30ХГСА, 30ХГСНА – під флюсом АН-15М дротами Св-18ХМА, Св-10ХМ.

Таблиця 8.4

Матеріали для зварювання під флюсом

Сталь	Флюс	Дріт
12ХМ, 15ХМ, 20ХМ	АН-22	Св-08ХМ
20ХМА	АН-42, АН-22	Св-08ХМ, Св-08ХМФА
10Х2М, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф	ФЦ-16	Св-04Х2МА
12Х2МФА, 15Х2МФА	АН-42	Св-10ХМФТ
10ГН2МФА	АН-17М	Св-08ГНМА, Св-10ГН1МА
15Х2НМФА, 15Х2МФА	АН-17М, ФЦ-18М	Св-10ХГНМА

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Хромисті (13 %-ні) корозійностійкі сталі 08Х13, 12Х13, 20Х13 зварюються під флюсом марки АН-26 з використанням дротів марок Св-07Х25Н13, Св-0Х14ГНТ.

Хромонікелеві аустенітні корозійностійкі, жароміцні сталі 12Х18Н9, 08Х18Н10Т також зварюються під флюсом АН-26, але з використанням дротів марок Св-06Х19Н10Т, Св-07Х18Н9ТЮ.

Мідь завтовшки 4–10 мм може зварюватись під стандартними плавленими флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-20С, АН-26С. Для більших товщин потрібно використовувати спеціальний флюс сухої грануляції АНМ-13. Як присадний матеріал застосовують або нагартований мідний дріт марки М1, або дріт, виготовлений із бронзи БрКМц 3-1, БрХ07, БрОЦ4-3 тощо.

Для формування зворотної сторони шва застосовують графітові підкладки або флюсові подушки, величина зазору не має бути більшою 1 мм. Зварювані кромки і дріт треба ретельно зачищати, а зварювальні матеріали і графітові блоки прогартовувати.

Латуні надійно зварюються під флюсом АН-20, МАТИ-53, як присадний матеріал використовують дріт з бронзи БрКМц 3-1, БрОЦ 4-3, БрАМц 9-2. За один прохід зварюється метал товщиною до 12 мм без розчищення кромок, при більших товщинах роблять розчищення V- або Х-подібне.

Алюмінієві бронзи марок БрАМц 9-2, БрАЖ 9-4, БрАЖМц 10-3-1,5 успішно зварюють під флюсом АН-20 з дротом БрАМц 9-2 діаметром 5 мм. При цьому висота шару флюсу не повинна перевищувати 25–30 мм для кращого видалення газу.

Нікель зварюють із використанням спеціально розробленого керамічного флюсу марки ЖН-1, а як присадку застосовують нікелевий дріт марки НП-1, НП-2 або НМц2,5.

Нікелеві сплави можна зварювати під основними або безкисневими флюсами, як присадку застосовують дроти із близького за складом сплаву діаметром 3–5 мм. Зварювання виконують швами невеликого перерізу для запобігання перегріву і зростанню зерна.

Титан під флюсом зварюють при виготовленні виробів з товщиною стінки від 3 до 40 мм. Для цього використовують флюси системи CaF_2–$BaCl_2$–NaF, основним компонентом яких (90–95 %) є CaF_2. Висота шару флюсу – не менша вильоту електрода, величина якого для електрода діаметром 3–4 мм становить 17–19 мм, для електрода діаметром 5 мм – 20–22 мм. Присадкою слугує дріт марки ВТ1-00. Для зварювання конструкцій особливо відповідального призначення застосовують комбінований флюсогазовий захист. Завдяки спеціальній будові бункера флюс продувається аргоном, що виключає попадання повітря у зварювальну ванну. Метал товщиною до 12 мм зварюють однопрохідними швами без розчищення кромок, товщиною більше 12 мм – двобічним зварюванням з Х-подібним розчищенням з кутом 90° і притупленням 3–5 мм.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Алюміній і його сплави зварюють за двома технологіями: по шару флюсу і під шаром флюсу. Як флюс використовують композиції з галогенідів і криоліту марок АН-Al (20 % NaCl, 50 % KCl і 30 % Na_3AlF_6) МАТИ-10 (30 % NaCl, 2 % Na_3AlF_6 і 68 $BaCl_2$) і ЖА-64 (керамічний флюс, містить 17 % NaCl, 43 % KCl, 36 % Na_3AlF_6 і 4 % SiO_2).

Зварювання алюмінію здійснюють на постійному струмі зворотної полярності.

Перша технологія використовується при виготовленні цистерн, котлів, інших ємностей з технічного алюмінію і сплаву АМц товщиною 10–30 мм без попереднього підігрівання. Зварювання виконують одним дротом на сталевих підкладках двобічними швами.

Зварювати можна і двома дротами, підключеними до одного джерела живлення. Дуга «блукає» між дротами, розсіюючи теплову потужність, завдяки чому зменшуються вимоги до точності збирання і підтискання до підкладок. Здійснюють зварювання на флюсовій подушці однобічним швом. При цьому способі дуга горить напіввідкритою, забезпечуючи надійне газовилучення, але зварник мусить захищатися від випромінювання маскою або щитком.

Для цього способу розроблено спеціальний зварювальний трактор ТС-33, який має бункер зі спеціальним дозатором висоти і ширини шару флюсу, подавальний механізм тягнучого типу, спеціальний мундштук і газовідсмоктуючий пристрій. Зварювання під флюсом (закритою дугою) виконується при великій щільності струму, завдяки чому досягається глибоке проплавлення. Розчищення кромок не потрібне. Зварювання проводиться розщепленим електродом.

Розглянутий спосіб зварювання покращує умови праці зварників.

В усіх випадках як присадку застосовують дроти марок СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАК5 тощо, відповідно до складу зварюваних сплавів, тому якість зварних швів незалежно від різновиду зварювання цілком задовільна.

8.3. ОБЛАДНАННЯ ТА ЙОГО ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

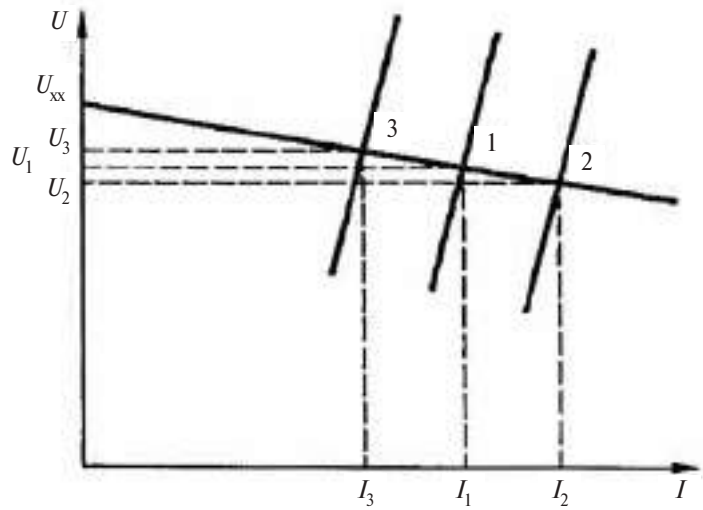
Основною частиною автомата для зварювання є зварювальна головка – комплекс механізмів і електричної апаратури для подавання електродного дроту до зварювальної ванни і підтримки стабільного горіння дуги.

Остання може обриватися внаслідок збурень, спричинених зміною величини зазору, рельєфу, товщини електродного дроту, розмірів частинок флюсу тощо. В усіх випадках мають бути однаковими швидкість подавання дроту і швидкість його плавлення. За таких умов не буде ні обриву дуги, ні короткого замикання.

Існуючі зварювальні головки працюють на двох принципах: *саморегулювання дуги* й *автоматичного регулювання напруги на дузі*.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Перший принцип був відкритий видатним ученим В. Дятловим у 1942 р. Суть його полягає в тому, що збурення, які виникають у зварювальній дузі, ліквідовуються самим джерелом живлення. Так, стабільному горінню дуги, коли $V_{п.е} = V_{пл.е}$, відповідатиме точка перетину зовнішньої характеристики джерела живлення і вольт-амперної характеристики дуги – 1 (мал. 8.5), якщо при механізованому зварюванні згідно з мал. 5.3 використовується зростаюча її частина.



Мал. 8.5. **Схема саморегулювання зварювальної дуги**

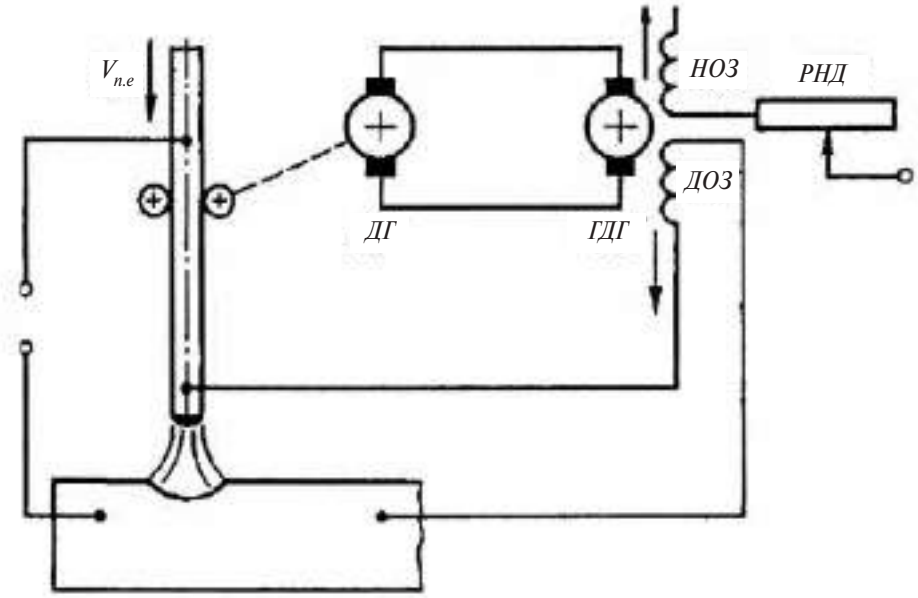
Зварювальний дріт подається у плавильний простір з постійною швидкістю під час зварювання, тому всі збурення, що виникають у дуговому проміжку, можуть ліквідовуватися лише завдяки зміні швидкості плавлення електрода. Так, при зміні рельєфу на шляху дуги, наприклад, появи горбика, зменшуються дуговий проміжок і величина напруги на дузі, тому нові параметри режиму зварювання перемістяться в точку 2 і становитимуть U_2 і I_2. Зі збільшенням сили зварювального струму теплова потужність дуги зростає, підвищується швидкість плавлення, отже, первинні параметри відновлюються.

Якщо ж на шляху дуги з'явиться впадинка, то дуга подовжується, нові параметри режиму змістяться в точку 3 і становитимуть U_3 і I_3. Зменшення сили зварювального струму зумовить падіння теплової потужності дуги і зниження швидкості плавлення, внаслідок чого первинні параметри будуть відновлені. Таким чином, при будь-яких збуреннях у зоні дуги всі вони зникають при збільшенні або зменшенні швидкості плавлення внаслідок зміни сили зварювального струму самим джерелом живлення, що визначається властивостями його зовнішньої характеристики.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Можливі збурення дуги легко спостерігати при автоматичному зварюванні у середовищі захисних газів, коли дуговий проміжок увесь час то скорочується, то подовжується.

На принципі саморегулювання зварювальної дуги побудована більшість обладнання як для автоматичного, так і напівавтоматичного зварювання. Завдяки йому значно спрощується подавальний механізм, підвищується надійність його роботи, але це все можливе лише за умови високої щільності зварювального струму, тобто завдяки використанню зварювальних дротів діаметром 1–3 мм. При більших діаметрах електрода (4–6 мм) внаслідок значної інерційності процесу (плавлення запізнюється) збурення зникають пізніше, і процес горіння дуги стає нестабільним. Тому вводяться обмеження при виборі параметрів режиму зварювання або використовують іншу принципову схему – автоматичного регулювання напруги зварювальної дуги (мал. 8.6).



Мал. 8.6. **Схема автоматичного регулювання напруги зварювальної дуги**

Ця схема забезпечує ліквідацію збурень у дуговому проміжку за рахунок зміни швидкості подавання зварювального дроту. Двигун зварювальної головки *ДГ* живиться від генератора *ГДГ*, ротор якого обертається з постійною швидкістю від стороннього асинхронного двигуна і має дві обмотки збудження. Незалежна обмотка збудження *НОЗ* живиться від незалежного джерела. В її ланцюзі є регулятор напруги дуги *РНД*, за допомогою якого встановлюється задана постійна величина U і величина струму і магнітного потоку в *НОЗ*. Дугова обмотка збудження *ДОЗ* живиться від зварювальної дуги, тому сила струму і магнітний

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

потік в обмотці *ДОЗ* змінюються залежно від напруги зварювальної дуги і збурень, що зумовлюють ці зміни. Напрямки магнітних потоків в обох обмотках протилежні, як показано стрілками, отже, величина і знак *ЕРС*, виробленої генератором *ГДГ*, залежить від співвідношення величин магнітних потоків. Під час зварювання сила струму і магнітний потік в обмотці *ДОЗ* більші, ніж в обмотці *НОЗ*, таким чином *ГДГ* виробляє *ЕРС*, що надходить на *ДГ*, внаслідок чого зварювальний дріт подається в зону зварювання.

Якщо розглянути варіант зміни рельєфу (поява горбика), як і в попередньому випадку, то зменшення напруги на дузі спричинить зменшення магнітного потоку в *ДОЗ*, при цьому сумарний магнітний потік в обмотках збудження *ГДГ* зменшиться, *ГДГ* виробить *ЕРС* меншої величини, *ДГ* зменшить частоту обертання. Дріт подаватиметься в зону зварювання з меншою швидкістю. При появі впадинки все проходитиме навпаки – швидкість подачі дроту збільшиться.

Отже, швидкість подавання дроту є функцією напруги дуги. При цьому стає можливим виконувати зварювання на малих щільностях зварювального струму, що важливо, наприклад, під час зварювання тонколистового металу під шаром флюсу, але ця технологія складніша, менш надійна в роботі, тому апарати такого типу не настільки поширені. Незважаючи на недоліки, система розширює межі механізованих способів зварювання.

Сьогодні випускається широка номенклатура універсальних і спеціалізованих апаратів, підвісних і самохідних головок (мал. 8.7) і тракторів (мал. 8.8), їх переваги і недоліки були розглянуті раніше. Принципи побудови подавальних механізмів однакові: зварювальний дріт з касети за допомогою тягнучого і прижимного роликів подається до мундштука, який направляє дріт до осі шва і здійснює струмопідвід до дроту. На шляху дроту від касети до подавальних роликів встановлюються правильні ролики, які ліквідують кривизну дроту, випрямляють її і подають у такому стані в мундштук. Останні бувають роликовими, колодковими, втульчатими і чобітковими (мал. 8.9).

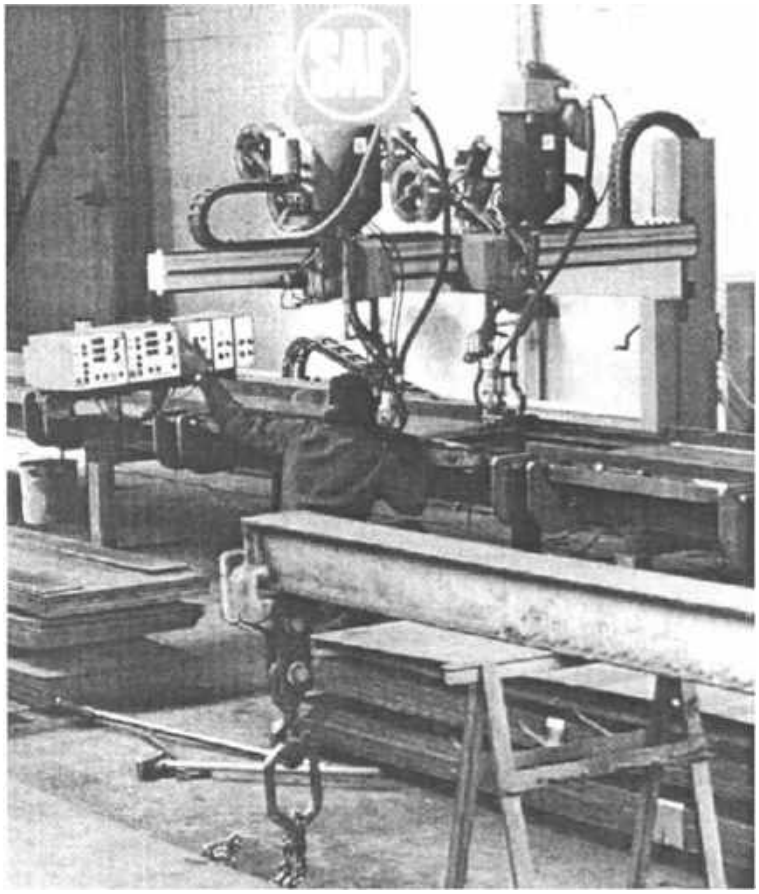
Роликовий мундштук (мал. 8.9, *а*) має два або три ролики 1, закріплені на струмоведучому корпусі 4 і притиснуті пружиною 5. Така конструкція застосовується для зварювання на великих силах струму (до 1500–2000 А).

Колодковий мундштук (мал. 8.9, *б*) складається з двох контактних колодок 6 і 9 зі вставками 7. Колодка 6 може зміщуватися на штирі 2 під дією пружини 3, а струм підводиться до нерухомої колодки 9.

Принцип дії чобіткового мундштука зрозумілий з мал. 8.9, *в*. Ці мундштуки використовують для зварювання на силах струму до 1000 А. Роликовий, колодковий і чобітковий мундштуки призначені для подавання дроту діаметром 3–6 мм. Для тоншого дроту (діаметром 1,6–1,5 мм) і зварювального струму до 500–600 А застосовують трубчаті мундштуки (мал. 8.9, *г*). Такий мундштук – це пряма або вигнута трубка 14, на

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

кінці якої за допомогою накидної гайки 12 закріплений ексцентрично розміщений наконечник 13. У процесі експлуатації, контактуючи з дротом, деталі зношуються внаслідок тертя, електроерозії і підгоряння, що веде до порушення точності направлення дроту і погіршення струмопідводу. Знос компенсується обертанням контактуючих деталей 1, 13 чи 11 і заміною деталей 7 і 10. Пристрої для подавання флюсу в зону зварювання закріплюються на мундштуці у вигляді воронки 8, розташованої концентрично до осі електрода. Флюс подається окремою трубкою перед мундштуком.



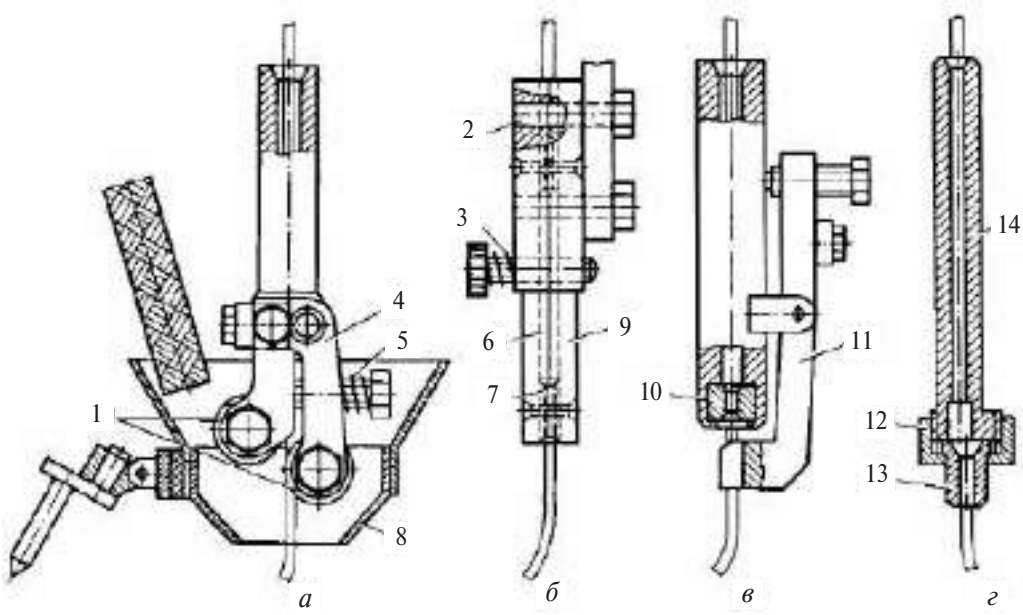
Мал. 8.7. **Одночасне зварювання профільної балки двома зварювальними головками фірми «AIR-LIQUIDE Group»**

Ходовий механізм призначений для переміщення дуги вздовж зварюваного стику по потрібній траєкторії зі швидкістю зварювання. При зварюванні поздовжніх швів переміщується автомат, під час зварювання кільцевих – виріб при нерухомому автоматі. Коригування напрямку ру-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ху електрода по стику здійснюється за допомогою механічних або електричних пристроїв. Крім того, використовуються механічні копіюючі системи прямої дії і слідкуючі пристрої непрямої дії.

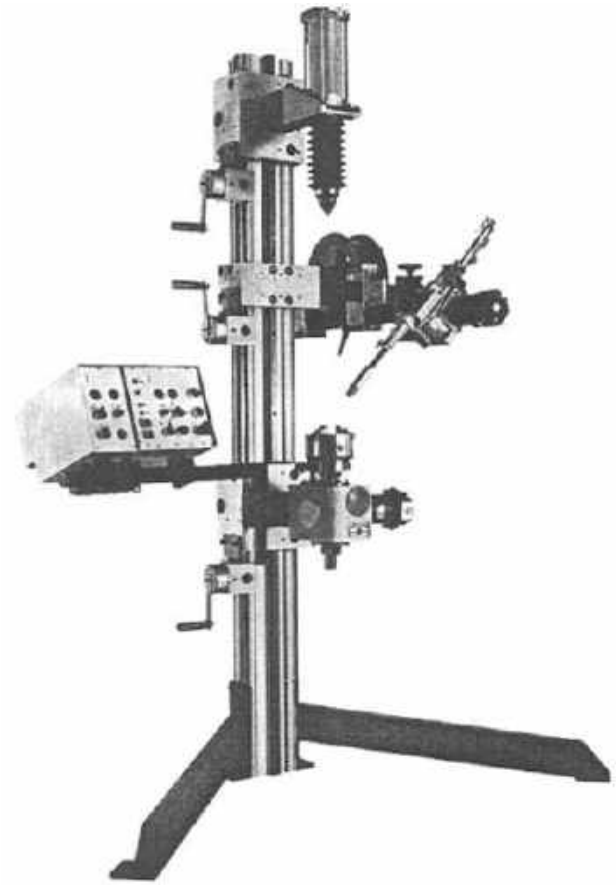
Мал. 8.8. **Зварювання кільцевих швів обичайки з використанням флюсопасової формуючої стрічки на тракторі ТС-17Р**



Мал. 8.9. **Конструкції струмопідвідних мундштуків**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Існує тенденція застосування зварювальної головки з механізмом обертання зварюваного виробу або іншого позиціонування, що дає змогу зробити комплекс мобільнішим і компактнішим, а сам процес зварювання виконувати за спеціальною комп'ютеризованою програмою (мал. 8.10).



Мал. 8.10. **Зовнішній вигляд установки з позиціонуванням зварювальної головки фірми «AIR-LIQUIDE Group»**

Як джерело живлення використовуються апарати змінного та постійного струму, що забезпечують одержання похилоспадних зовнішніх характеристик.

З урахуванням особливостей способів зварювання під флюсом та електрошлакового зварювання і використання обладнання в табл. 8.5 наведено підсумкові відомості стосовно можливості зварювання конструкційних матеріалів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 8.5

Можливості використання зварювання під флюсом і електрошлакового зварювання металів і сплавів

Матеріал	Спосіб зварювання					
	під флюсом			електрошлаковий		
	Постійний струм полярності		Змінний струм	Постійний струм полярності		Змінний струм
	прямої	зворотної		прямої	зворотної	
Низьковуглецеві сталі для конструкцій невідповідального і звичайного призначення	+	+	+	–	–	+
Низьковуглецеві сталі для конструкції особливо відповідального призначення	+	+	+	–	+	+
Середньовуглецеві низько- і середньолеговані сталі	–	+	±	–	+	+
Високолеговані сталі і сплави	–	+	–	–	+	–
Чавуни	–	–	–	–	–	+
Мідь і її сплави	–	+	±	–	–	+
Нікель і його сплави	–	+	–	–	+	–
Титан і його сплави	–	+	–	–	–	+
Алюміній і його сплави	–	+	–	–	–	+

Примітка: «+» – зварювання доцільне; «±» – зварювання обмежене; «–» – зварювання недоцільне або відсутня надійна інформація.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть автоматичного зварювання під флюсом? Які параметри режиму? Які переваги і недоліки цього способу?
2. Які способи формування зворотної сторони шва при автоматичному зварюванні під флюсом?
3. Яка роль флюсу при автоматичному зварюванні? Які його зварювально-технологічні властивості?
4. Які матеріали і технологію застосовують для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей? Для зварювання середньо- і високолегованих сталей?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

5. Які матеріали і технологію використовують для зварювання кольорових металів?
6. Який принцип саморегулювання зварювальної дуги? Які переваги і недоліки обладнання, що працює на цьому принципі?
7. Як здійснюється автоматичне регулювання напруги на дузі? Які переваги і недоліки обладнання для автоматичного регулювання?
8. Які переваги і недоліки використання зварювальних тракторів і головок?
9. Яке обладнання застосовується для автоматичного зварювання під флюсом? Які його основні характеристики?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 9

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ (72)

Як це часто буває, електрошлакове зварювання було винайдене випадково. Дослідник інституту електрозварювання АН УРСР Г. Волошкевич удосконалював технологію автоматичного зварювання під флюсом вертикальних швів з примусовим формуванням. Він звернув увагу на те, що при деяких параметрах процесу дуга зникала, але зварювання не припинялось. Так і з'явився цей різновид електротермічної обробки металів, який не тільки розширив можливості виготовлення товстостінних масивних металоконструкцій, але і дав поштовх до створення окремої і дуже важливої галузі спеціальної електрометалургії сплавів – електрошлакового переплаву.

9.1. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА ЗВАРЮВАННЯ

Плавлення основного й електродного металу в процесі електрошлакового переплаву здійснюється за рахунок теплоти, яка виділяється у розплавленій і перегрітій до температури 1700–2200°С шлаковій ванні під час протікання через неї зварювального струму згідно з формулою:

$$Q = I^2 R_{шл},$$

де I – зварювальний струм, А; $R_{шл}$ – електричний опір розплавленого шлаку, Ом.

На мал. 9.1 представлена схема цього процесу.

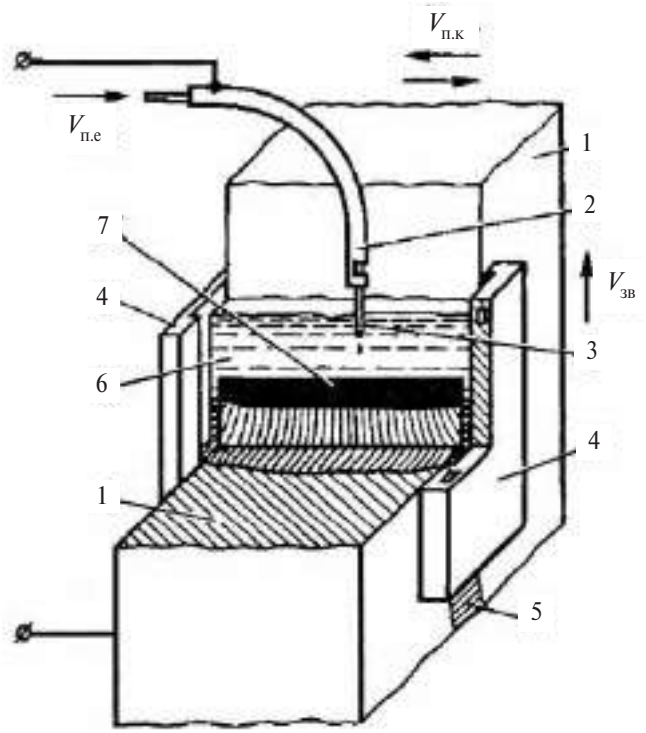
Зварювальний струм подається від джерела живлення постійного або змінного струму до електрода 3 і виробу 1, а плавильний простір утворюється між зварюваними деталями і мідними водоохолоджувальними повзунами 4. Сам процес виконується при вертикальному положенні виробу або при невеликому його нахилі. Електродний дріт через мундштук 2 подається зі швидкістю $V_{п.е}$ до шлакової ванни 6, і його розплавлені крапельки змішуються з розплавленим основним металом, утворюючи рідку металеву ванну 7.

Хоча найбільш нагріта зона розташована в зоні проходження струму електрод – металева ванна, внаслідок дії магнітних полів шлакова ванна інтенсивно перемішується, і її температура майже вирівнюється по всьому об'єму.

Оскільки теплота відводиться в глибину основного металу та у водоохолоджувальні повзуни, металева ванна кристалізується з утворенням зварного шва 5, який покритий шлаковою кіркою невеликої товщини. Вся система зі зварювальною головкою і повзунами переміщується знизу уверх зі швидкістю зварювання $V_{зв}$, а для рівномірного розподілу теп-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

лового градієнта шлакової ванни і забезпечення надійного провару по всій товщині виробу мундштуку з електродом надається поперечний рух від повзуна до повзуна зі швидкістю поперечних коливань $V_{п.к}$. У процесі зварювання частина шлаку витрачається на випарювання й утворення шлакової кірки, тому періодично невеликими порціями до шлакової ванни додається флюс.



Мал. 9.1. **Схема електрошлакового зварювання**

Існує кілька різновидів електрошлакового зварювання залежно від електрода, що використовується. Найчастіше застосовуються дротові електроди діаметром 2–3 мм (дуже рідко діаметром 5 мм), що дає змогу зварювати метал товщиною до 450 мм трьома дротами, які одночасно подаються у плавильний простір, при поперечних коливаннях мундштуків.

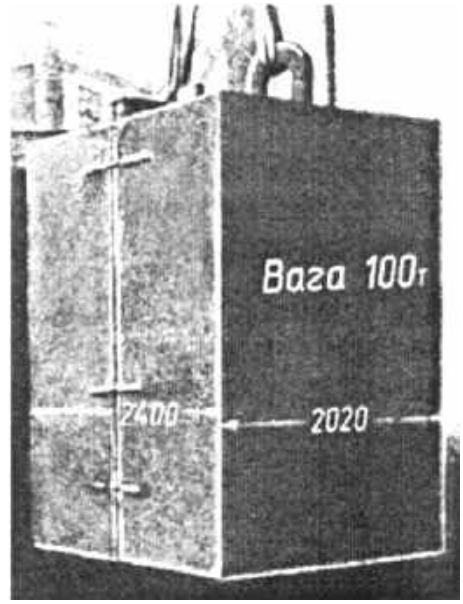
Метал більших товщин зварюють електродами у вигляді пластини, однієї або кількох, завтовшки 10–12 мм. Їх ширина залежить від потужності джерела живлення. Висота виробу не має бути вищою 1 м.

Товстіші і довші конструкції (мал. 9.2) зварюють, комбінуючи два перших різновиди, плавким мундштуком.

Останній являє собою набір кількох пластин із напрямними каналами, через які подаються зварювальні дроти. Пластини жорстко закріплені в зазорі між зварюваними деталями й ізольовані від них. Формуван-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ня плавильного простору здійснюється спеціальним водоохолоджувальним кристалізатором. Цей різновид дає змогу зварювати деталі практично необмежених розмірів і конфігурацій.



Мал. 9.2. **Баба безшаботного молота, виготовлена електрошлаковим зварюванням плавким мундштуком**

Основні параметри режиму електрошлакового зварювання такі.

Рід струму і полярність – зварювання виконують на змінному струмі або на постійному струмі зворотної полярності.

Діаметр електрода d_e, мм, або переріз пластинчастого електрода вибирається залежно від товщини зварюваного металу і потужності джерела живлення.

Кількість електродів n залежить від товщини зварюваного металу. Звичайно не перевищує трьох, але в деяких випадках може бути і більшою, наприклад, при зварюванні плавким мундштуком.

Залежить від товщини зварюваного металу й умов зварювання (з коливанням електродів чи без них). Так, одним дротом без його коливань можна зварити метал товщиною до 60 мм, а з коливаннями – до 150 мм. Найбільша товщина, яка може бути зварена трьома електродами з коливанням, становить 450 мм.

Розмір і кількість пластинчастих електродів вибирають залежно від товщини зварюваного металу при постійній товщині пластини, яка становить 10–12 мм.

Метал завтовшки 200 мм можна зварити або одним електродом завширшки 200 мм або двома електродами завширшки 92–94 мм. При зварюванні

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

металу товщиною 400 мм застосовують три електроди шириною 122–125 мм. Якщо товщина 800 мм, то ширина кожного з електродів 258–268 мм.

Сила зварювального струму $I_{зв}$ залежить від перерізу електрода і швидкості його подачі та деякою мірою від швидкості зварювання, знаходиться в межах 500–2500 А.

Напруга на шлаковій ванні $U_{ш.в.}$ визначається зварювальним струмом при спадній характеристиці та практично дорівнює напрузі холостого ходу при жорсткій характеристиці джерела живлення, знаходиться в межах 25–50 В.

Швидкість зварювання $V_{зв.}$ залежить від швидкості подавання електрода і його перерізу, кількості електродів, товщини зварюваного металу і величини зазору, знаходиться в межах 0,5–2,5 м/год.

Додаткові параметри вказано нижче.

Сухий виліт електрода l_e визначається діаметром електрода, його перегріванням при протіканні струму. Він знаходиться у межах 45–60 мм.

Глибина шлакової ванни $h_{ш.в.}$ залежить від кількості теплоти, яка виділяється при проходженні через неї зварювального струму. При малій глибині процес переходить у дуговий, при великій – шлакова ванна «замерзає» внаслідок недостатнього її обігрівання. Глибина h знаходиться в межах 35–60 мм.

Величина зазору визначає можливість розміщення мундштука без загрози його торкання до зварюваних деталей. Незалежно від товщини зварюваного металу вона знаходиться в межах 25–35 мм.

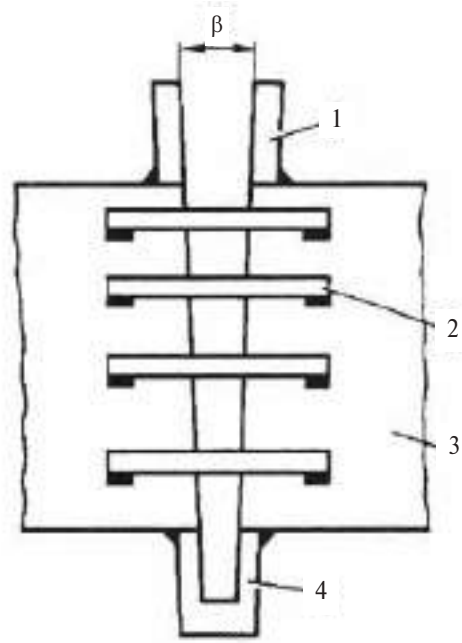
Швидкість зворотно-поступальних рухів мундштука $V_{п.к.}$ і тривалість затримки його в крайньому положенні біля повзунів $t_з$ визначають рівномірність прогрівання і проплавлення металу по всій його товщині, становлять відповідно 60–90 м/год і 4–6 с.

Техніка електрошлакового зварювання складніша порівняно з розглянутими раніше способами. Стандарт встановлює характер і чистоту обробки торцевих поверхонь зварюваних кромок (виконується механічним або газовим різанням), стан бокових поверхонь кромок, по яких переміщуватимуться або встановлюватимуться формуючі пристрої, взаємне розміщення ділянок зварюваних частин після складання. Останнє виконується за допомогою спеціальних П-подібних планок, вхідного кармана і вихідних планок, які приварюються, як показано на мал. 9.3.

Товщина складальних планок становить 15–20 мм, довжина – 350–400 мм, вони розташовані з двох сторін виробу на відстані 300–500 мм. Товщина стінок кармана і вихідних планок становить 50–100 мм, а висота 50–120 мм. Кромки складаються з кутом розкриття $\beta = 1...2^{\circ}$ для компенсації можливої деформації деталей при зварюванні внаслідок усадки зварного шва. При складанні стикових з'єднань прямолінійних швів зміщення кромок не повинно перевищувати 2–3 мм, при цьому можна застосовувати повзуни простої конструкції з однієї мідної план-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ки. При більших зміщеннях застосовують тристулкові шарнірні повзуни. Поверхня, по якій пересуваються повзуни, має бути гладенькою, очищеною від бруду, окалини та іржі. У деяких випадках при зварюванні швів складного профілю, змінної кривизни застосовують нерухомі мідні накладки, які допускають більше зміщення зварюваних кромок (мал. 9.4).

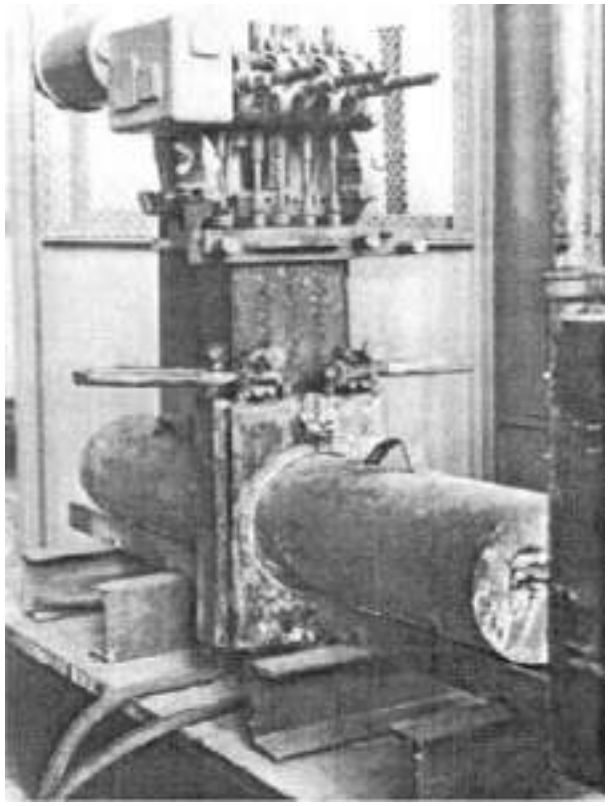


Мал. 9.3. **Схема складання деталей для електрошлакового зварювання:** 1 – вихідні планки; 2 – збиральні П-подібні планки; 3 – зварювальні деталі; 4 – вхідний карман

Складений для зварювання виріб установлюється на стенді в зоні дії зварювального апарата або сам апарат закріплюється на виробі. При зварюванні дротами наведення шлакової ванни не спричинює труднощів. Внаслідок високої щільності струму 70–100 А/мм^2 виникає сильний дуговий розряд між дротом і карманом, куди невеликими порціями засипається робочий флюс, і по досягненні потрібної глибини шлакової ванни дуга згасає, починається нормальний електрошлаковий процес, після чого зварювальний візок рухається уверх із заданою швидкістю зварювання.

По мірі пересування складальні П-подібні планки збиваються молотком для можливості подальшого руху кронштейна з формуючими планками і візка. При цьому може бути невідповідність між швидкістю утворення зварного шва та швидкістю руху візка, для усунення якої передбачено автоматичне або ручне регулювання.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 9.4. **Частини вала, підготовлені для електрошлакового зварювання плавким мундштуком**

У разі відставання руху повзуна від руху візка потрібно обстукувати верхню частину повзуна, не допускаючи його відходу від зварюваної кромки і витікання шлаку, бо це призведе до аварійної ситуації.

На відміну від раніше розглянутих способів електрошлакове зварювання має виконуватись від початку до кінця без перерв, щоб у шві не утворювались дефекти, які важко ліквідувати. Закінчується процес зварювання на вихідних планках, куди виводяться шлакова ванна і верхня частина зварного шва, яка містить, як правило, дефекти у вигляді газових порожнин, шлакових вкраплень, тріщин тощо. Після закінчення процесу карман і вихідні планки відрізаються.

Під час зварювання пластинчастим електродом наведення шлакової ванни складніше внаслідок низької щільності струму (1–2 А/мм^2). Тому електрод закорочують на карман через чавунну або титанову стружку, а найкраще через спеціальний електропровідний у твердому стані флюс марки АН-25. При пропусканні струму цей прошарок розплавляється, виникає дуговий розряд, куди і подається, як і в попередньому випадку,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

невеликими порціями робочий флюс, а далі процес іде так, як описано вище.

Таким же способом зварюють кутові й таврові з'єднання. Найскладнішими у технічному виконанні є кільцеві шви, які потребують особливо ретельної підготовки та високої кваліфікації виконавців.

9.2. ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ, ЧАВУНІВ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

До флюсів для електрошлакового зварювання поряд із загальними висуваються особливі вимоги, зумовлені специфікою самого процесу, які задовольняються при відповідних показниках електропровідності та в'язкості шлаків.

Як і при дуговому зварюванні, при електрошлаковому технологічні особливості процесу залежать від хімічного складу флюсу. Окислювальний висококремнистий марганцевий флюс, наприклад, марки АН-8 (33–36 % SiO_2; 21–26 % MnO; 4–7 % CaO; 11–15 % Al_2O_3; 13–19 % CaF_2; 1,5–3,5 % Fe_2O_3) забезпечує стабільність процесу на будь-якому струмі, не сприяє віджиманню повзунів і витіканню зварювальної ванни і не потребує високої точності складання під зварювання. Проте в процесі зварювання втрачаються легуючі елементи.

Основний фторидний флюс, наприклад, марки АНФ-14 (14–16 % SiO_2; 8 % CaO; 4–8 % MgO; 10–12 % Al_2O_3; 60–65 % CaF_2; 1 % Fe_2O_3) забезпечує зберігання легуючих елементів. Проте стабільність процесу підтримується лише на постійному струмі зворотної полярності. Флюс спричиняє віджимання повзунів і витікання зварювальної ванни. Потребує високої точності складання деталей для зварювання.

Вміст шкідливих домішок сірки і фосфору в окислювальних флюсах становить 0,1–0,12 %, у фторидних – по 0,05 % кожної. При виборі необхідного складу флюсу керуються вимогами до властивостей зварного шва. Щоб усунути недоліки, обумовлені технологічними особливостями, коригуються параметри режиму і техніка виконання зварювання.

Низьковуглецеві й низьколеговані сталі марок ВСт3, 20, 22К, 10Г2С1, 09Г2ДТ зварюють із застосуванням дроту марок Св-10Г2, Св-10Г2С, високоміцні сталі марок 25Х2ГМТ, 35Н3МФА – дроту Св-20ХН3МФ, Св-20ХН3МФА.

Залежно від товщини і вуглецевого еквіваленту при електрошлаковому зварюванні іноді потрібне попереднє підігрівання.

У зв'язку з тим, що термічний цикл електрошлакового зварювання забезпечує уповільнене охолодження, метал шва і пришовна зона котлових сталей 20К, 22К тривалий час перебувають при високій температурі, що веде до росту аустенітного зерна, утворення голчатої структури, внаслідок чого зменшуються пластичні властивості з'єднання. Тому після

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

зварювання їх піддають термообробці: нормалізації при 900–910°С і відпуску при 650–670°С. Іноді зварювання поєднують з супутньою йому термообробкою за допомогою газових пальників, що пересуваються слідом за повзунами. Від термообробки можна відмовитися, зварюючи спеціальну низьколеговану сталь 09Г2ДТ з первинним дрібним зерном, яка розроблена спеціально для електрошлакового зварювання.

Високолеговані сталі й сплави при виготовленні металоконструкцій шляхом електрошлакового зварювання застосовуються обмежено внаслідок перегрівання пришовної зони. Вироби обов'язково піддають термообробці. Зварювання виконують під фторидними флюсами.

Чавун зварюють під флюсом марки АНФ-6. Термічний цикл електрошлакового процесу дуже сприятливий для зварювання чавуну, бо він забезпечує уповільнене охолодження виробу і виділення вуглецю у вигляді графіту, завдяки чому зварні шви мають високі механічні властивості і добре обробляються звичайним різальним інструментом. Як електроди застосовують пластинки й стрижні, відлиті з чавуну того самого складу, що й основний метал, і порошкові дроти марок ППЧ2 і ППЧ3.

Електрошлакове зварювання доцільно використовувати при ремонтних роботах і зварюванні крізних і некрізних дефектів литва, коли поперечний переріз перевищує 10 $см^2$.

Дефекти мають бути відповідно розчищені і підготовлені з утворенням формуючих пристроїв і вихідних кілець із графіту. Техніка зварювання така ж, як і для сталі. Наведення шлакової ванни може виконуватися попереднім розплавленням потрібної кількості флюсу, перегріванням його і заливкою у сформований плавильний простір, після чого вмикається зварювальний струм і починається рух електрода.

Мідь зварюється з використанням пластинчастого електрода або плавкого мундштука. Вони забезпечують збільшення погонної енергії, потрібне для електрошлакового процесу. Необхідне тепловиділення і достатнє оплавлення кромок, що з'єднуються, і очищення зварного шва досягається застосуванням спеціального легкоплавкого флюсу марки АН-М10 на основі фторидів лужноземельних металів (50–70 % NaF, 10–20 % LiF, 10–20 % CaF_2, 5–10 % SiO_2, 3 % CaO). Для формування ванни використовуються графітні пластини. Мідні заготовки перерізом 140 × 160 мм зварюють пластинчастим електродом завтовшки 18 мм на підвищених зварювальних струмах 8000–10000 А при $U_{ш.в.}$ = 40…50 В, зазор 55–60 мм, глибина шлакової ванни 60–70 мм.

Нікель і його сплави можна зварювати як дротами, легованими марганцем, наприклад, СвНМц2,5, Св-НМц5 (для знешкодження впливу сірки), так і пластинчастими електродами під фторидними флюсами марок АНФ-5, АНФ-8 тощо. Техніка і параметри режиму електрошлакового зварювання наближені до тих, що використовують при зварюванні сталей.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Титан і його сплави можна з'єднувати всіма способами електрошлакового зварювання під тугоплавкими флюсами на основі систем CaF_2-$BaCl_2$-NaF і CaF_2-MgF_2-SrF_2 марок АНТ-2, АНТ-4, АНТ-6 з додатковим захистом аргоном плавильного простору, розігрітої поверхні шва біля повзунів і вильоту титанового електрода.

Оскільки всі фторидні шлаки відрізняються високою рідкотекучістю, зазори між формуючими підкладками, повзунами і кромками зварюваних деталей не повинні перевищувати 0,5 мм, для чого їх механічно оброблюють. Для покращення пластичності і в'язкості деяких двофазних титанових сплавів після зварювання рекомендується дифузійний відпал виробів при температурі 750–850°С. Для електрошлакового зварювання титану розроблено спеціалізовані установки, які живляться змінним зварювальним струмом.

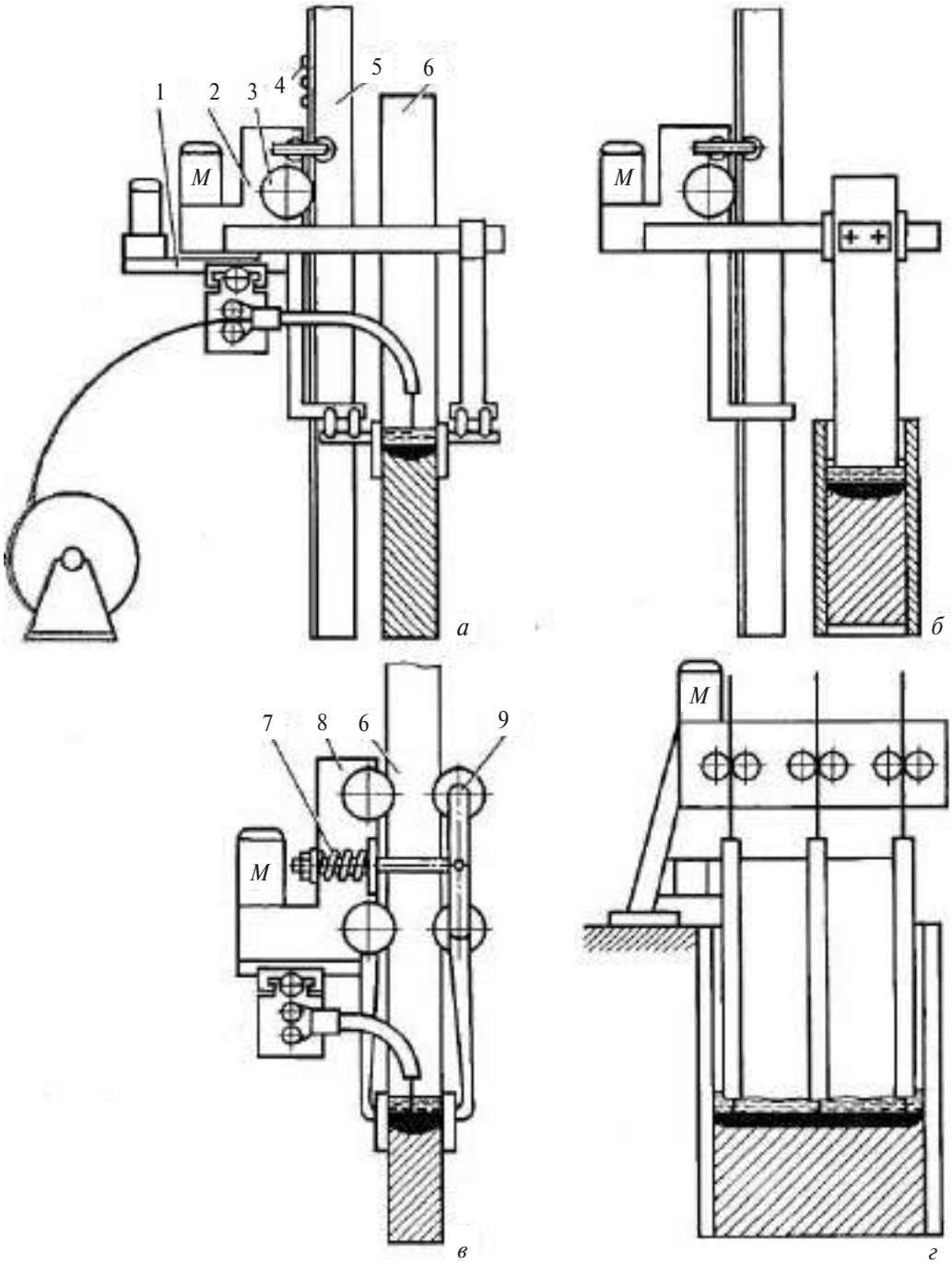
Алюміній і його сплави зварюють на великій погонній енергії, більшій, ніж для сталі. Електрошлакове зварювання здійснюється пластинчастими електродами і плавким мундштуком з використанням флюсу марки АН-А301 (20 % LiCl, 50 % KCl, 20 % $BaCl_2$, 10 % LiF). Пластини для електрода і мундштука виготовлені з металу того ж складу, що і основний метал. За міцністю зварний шов на чистому алюмінії не поступається основному металу, міцність швів на сплавах типу АМг становить 0,7–0,9 міцності основного металу.

9.3. ОБЛАДНАННЯ ТА ЙОГО ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для забезпечення саморегулювання процесу плавлення електрода використовують джерела живлення змінного і постійного струму з жорсткими зовнішніми характеристиками. Особливістю трансформаторів є широкий діапазон регулювання вторинної напруги, а саме регулювання може виконуватися за допомогою секціонованих обмоток, додаткових регулювальних трансформаторів малої потужності, а також плавною зміною напруги шляхом магнітної комутації.

Апаратура для електрошлакового зварювання має забезпечувати одночасне нагрівання шлаковою ванною зварюваних кромок і присадного металу до температури їх плавлення, подавання в зазор між кромками електродного металу з підводом до нього зварювального струму і можливості зворотно-поступального руху мундштука від повзуна до повзуна, утримання зварювальної ванни у плавильному просторі при переміщенні її разом з формуючими пристроями. Для цих операцій застосовують комплекс механізмів, багато з яких виконують аналогічні функції в апаратах для дугового зварювання. Головки для зварювання дротовими електродами мають таку саму будову, як і для дугового процесу. За способом переміщення можуть бути самохідними (рейковими і безрейковими) і підвісними (мал. 9.5).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 9.5. **Схеми апаратів для електрошлакового зварювання:**
а і *б* – рейкові для зварювання відповідно дротовим і пластинчастим електродами; *в* – безрейковий; *г* – підвісний для зварювання плавким мундштуком

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Струмопідвідні мундштуки забезпечують введення електрода в зазор між кромками та його вертикальне розміщення над зварювальною ванною. Якщо мундштук розміщений поза зазором (мал. 9.6, *б*), можна зменшити зазор і тим самим збільшити продуктивність процесу, що ефективно при зварюванні металу невеликих (до 100 мм) товщин.

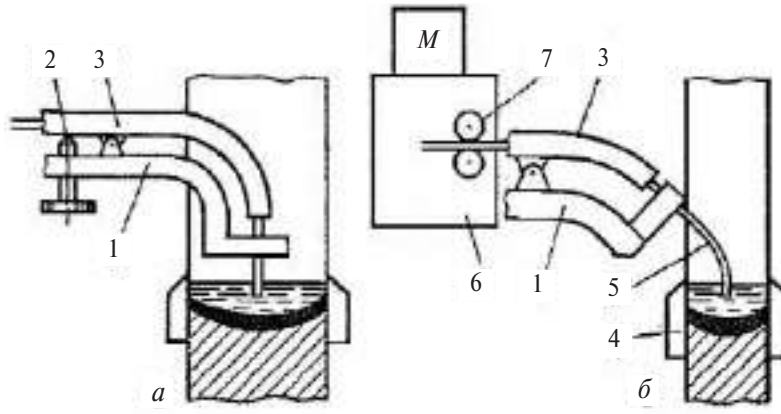
При більших товщинах зростає виліт електрода, знижується точність його направлення, можливим є непровар однієї з кромок або пропал повзуна, тому мундштук розміщується в зазорі і його положення регулюється коригуючим гвинтом 2 (мал. 9.6, *а*). Апарати для зварювання пластинчастими електродами – рейкового типу (див. мал. 9.5, *б*) мають затискачі для одного або кількох електродів, розміщених на супорті, який рухається під дією рейкового або гвинтового приводу.

Ходові механізми утримують апарат на вертикальній площині і переміщують його вздовж шва зі швидкістю зварювання.

Апарати рейкового типу (див. мал. 9.5, *а*) рухаються по рейковому шляху 5, установленому паралельно зварюваним кромкам 6, а безрейкового типу (див. мал. 9.5, *в*) рухаються безпосередньо по зварюваному виробу за допомогою електроприводу. Апарати рейкового типу мають жорсткий зв'язок між рейкою і ходовим механізмом. Привідна шестірня 3 його візка (див. мал. 9.5, *а*) входить у зачеплення з рейкою напрямної 4. На візку 2 кріпляться всі елементи апарата, в тому числі головка 2 і механізм коливань 7.

При безпосередньому кріпленні зв'язок між візком і виробом здійснюється за допомогою потужної пружини 7 (див. мал. 9.5, *в*), яка притискує до виробу два візки 8 і 9, розташовані з обох боків зварюваних листів, або завдяки спеціальним магнітам.

Конструкції струмопідвидних мундштуків наведені на мал. 9.6.



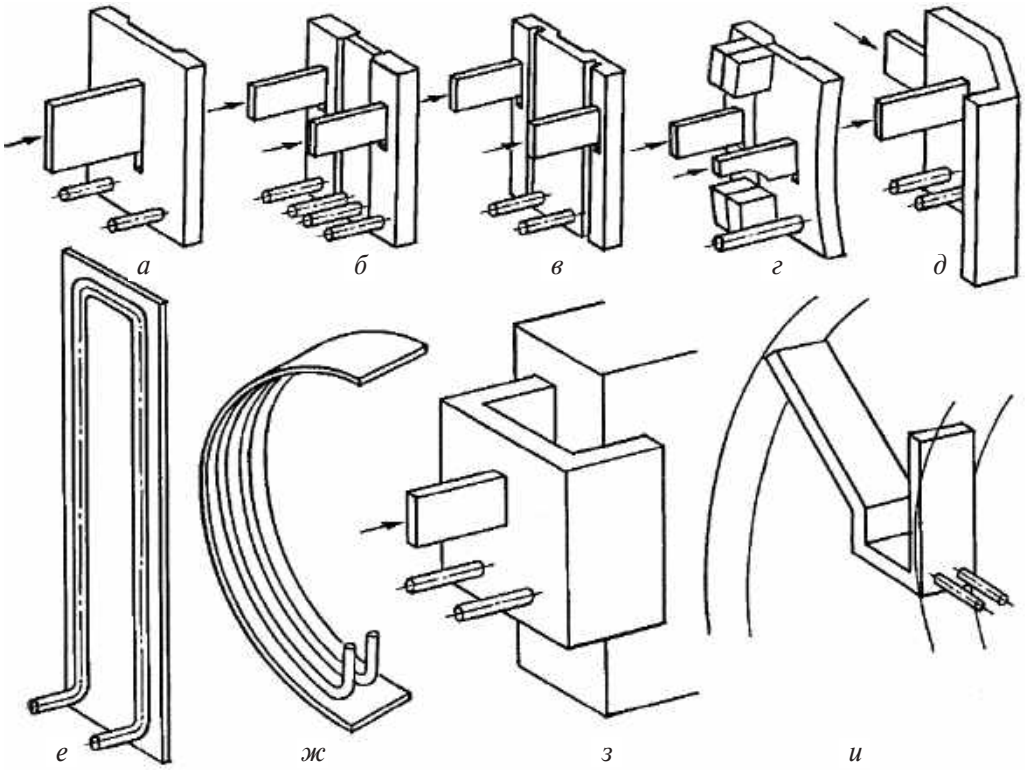
Мал. 9.6. **Конструкції струмопідвідних мундштуків, розташованих у зазорі (*а*) і поза ним (*б*):**
1 – струмопідвід; 2 – коригуючий гвинт; 3 – напрямна трубка; 4 – формуючі повзуни; 5 – електродний дріт; 6 – механізм подавання; 7 – подавальні ролики

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Механізми зворотно-поступального переміщення мають постійну швидкість руху. Для періодичної зупинки біля повзунів передбачено кінцеві вимикачі, які реверсують привідний двигун.

Формуючі повзуни – це мідні водоохолоджувальні пластини. Під час утворення шва вони або рухаються, або не рухаються. Конструкція повзунів залежить від типу швів, стану кромок – якості складальних робіт тощо. Так, при зварюванні металу невеликої товщини і при високій якості складання застосовують жорсткі повзуни (мал. 9.7, *а, е, ж*).

При перекосі кромок краще застосовувати гнучкі повзуни: шарнірні, складені або надрізні (мал. 9.7, *б, в*), що забезпечують незалежне притискання до кожної з кромок. Існують повзуни для кутових швів (мал. 9.7, *г, д*) і швів внапустку або для формування наплавленого металу (мал. 9.7, *з, и*).



Мал. 9.7. **Конструкції формуючих пристроїв для електрошлакового зварювання:** *а, е, ж* – жорсткі; *б* – шарнірні; *в* – надрізні; *г, д* – для кутових швів; *з, и* – для формування наплавленого металу

Повзуни для зварювання титану і його сплавів мають пристрій для подавання захисного газу через верхній край.

Тип апарата вибирають залежно від товщини зварюваного металу, умов виконання роботи, номенклатури, кількості виробів тощо.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть електрошлакового зварювання? Які параметри режиму, переваги і недоліки цього способу?
2. Які особливості техніки електрошлакового зварювання?
3. Які специфічні вимоги до властивостей флюсів для електрошлакового зварювання?
4. Які матеріали і технологію застосовують для електрошлакового зварювання сталей і кольорових металів?
5. Яке обладнання використовують для електрошлакового зварювання? Які особливості його використання залежно від умов зварювання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 10

СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ

Сучасна і майбутня техніка передбачає застосування машин, апаратів і пристроїв, виготовлених із використанням тугоплавких, високоактивних металів і сплавів, кераміки, для яких раніше розглянуті різновиди зварювання можуть бути непридатними.

У той же час навіть традиційні метали, що надійно зварюються, застосовуються у вигляді деталей малих товщин або у складі різнорідних композицій, тому їх зварювання потребує принципово нових умов процесу для одержання якісних з'єднань. Хоча нижче розглянуті види зварювання і не мають широкого розповсюдження, все ж важливість і необхідність їх для виробництва не викликає сумнівів.

10.1. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ (51)

Нагрівання і плавлення основного металу здійснюється за рахунок перетворення кінетичної енергії потоку електронів, які емітуються з поверхні катода і рухаються в одному напрямку в вакуумі, у теплову енергію при зіткненні їх з поверхнею металу.

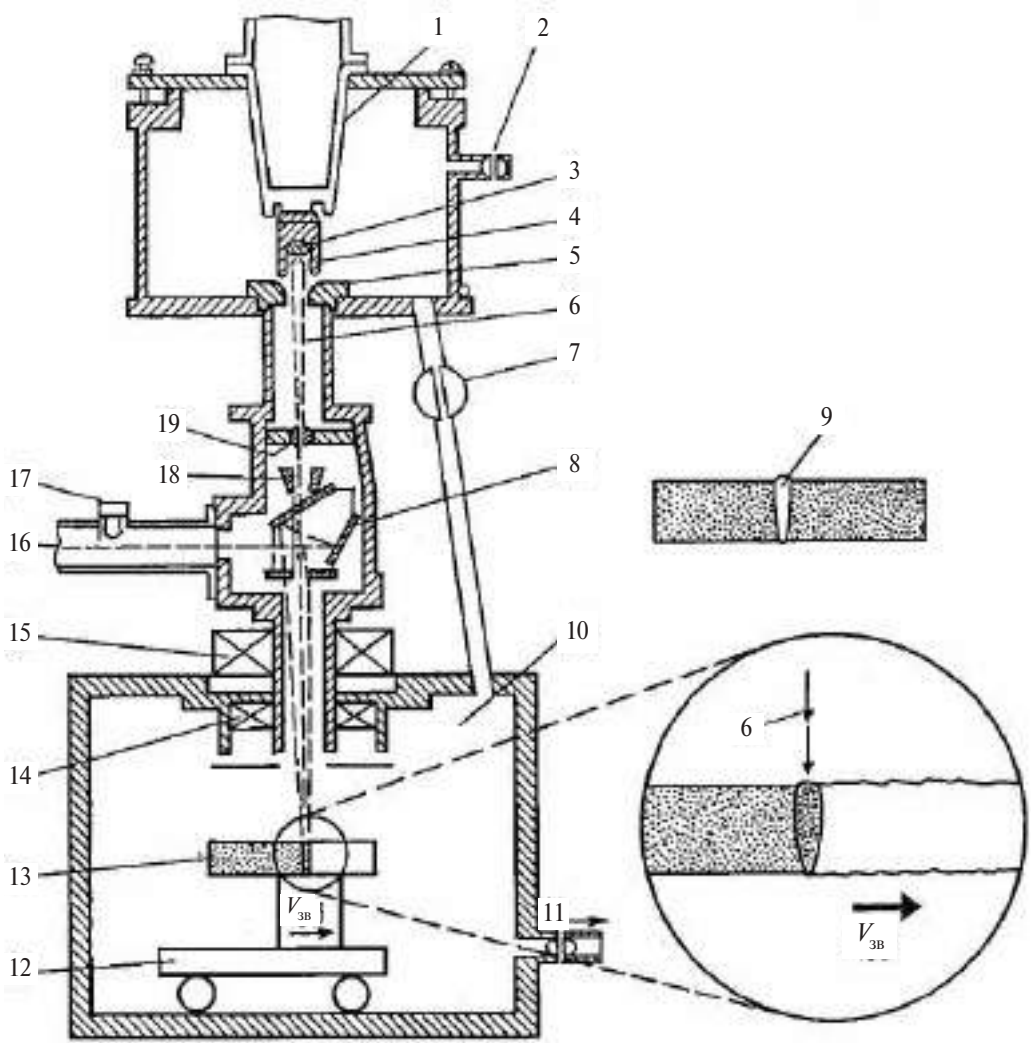
Схема електронно-променевого зварювання показана на мал. 10.1. Вона включає електронну пушку, де утворюється електронний промінь, прилади керування ним, камеру для зварюваної деталі, оптичну систему для налаштування установки до зварювання, пристрої з'єднання для утворення вакууму. Катод 3, закріплений на ізоляторі 1, і прискорюючий анод 5 з отвором живляться від високовольтного джерела.

Електрони, які емітуються розігрітою поверхнею катода, фокусуються електричним полем між прикатодною фокусуючою лінзою 4 у пучок 6 з діаметром, що дорівнює діаметру отвору анода. Позитивний потенціал прискорюючого електрода може досягати кількох десятків тисяч вольт, тому електрони на шляху до анода одержують значну енергію і швидкість. Сформований таким чином промінь проходить через відкритий затвор 19 пушки, діафрагму 18, що відсікає периферійні електрони, і досягає магнітної лінзи 15, де щільність електронів значно зростає.

Сфокусовані у такий пучок електрони ударяються на великій швидкості об обмежену ділянку на виробі 13, розміщеному на візку 12 у зварювальній камері 10. Кінетична енергія електронів внаслідок гальмування перетворюється в теплову і розплавляє метал. Особливість перетворення енергії електронів полягає в тому, що вона передається не на поверхні металу, а в його певному шарі, товщина якого дорівнює пробігу електронів, внаслідок чого нагрівання металу проходить з середини, на

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

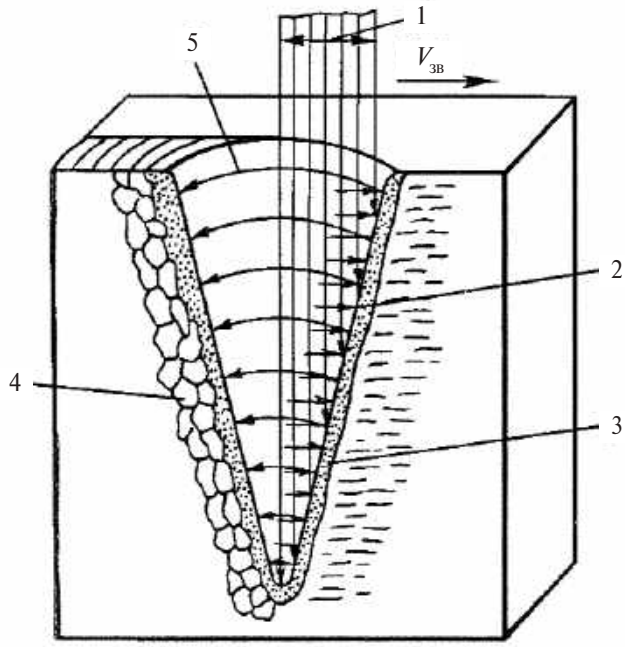
деякій глибині від поверхні. Візок 12 пересуває виріб із заданою швидкістю зварювання. Для можливості коригування променя на виробі на шляху променя розміщена магнітна відхиляюча лінза 14. Вона також дає змогу здійснювати коливання променя вздовж і поперек шва або по більш складній траєкторії. Для забезпечення вільного руху електронів, теплового і хімічного захисту ізоляції катода, запобігання дугового розряду між електродами в пушці й камері підтримується глибокий вакуум $133 \cdot 10^{-4}$ Па, який утворюється дифузійним насосом через затвор 11. За допомогою додаткових вакуумних затворів 7 і 19 можна утворювати вакуум окремо, як в самій пушці, так і в зварювальній камері, в той час як для впуску повітря в систему слугує затвор 2.



Мал. 10.1. **Схема електронно-променевого зварювання**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Оптична система складається із дзеркал 8, джерела світла 17 і вікна спостереження 16. Вона використовується для налагоджувальних робіт і спостереження за процесом зварювання. Зварюваний шов 9 формується поступово: спочатку при нерухомому промені площа плями нагрівання дорівнює площі перерізу променя і в металі утворюється заглиблення у вигляді конуса внаслідок інтенсивного випарювання металу в плямі. При переміщенні променя на передній стінці конуса плавиться метал, який стікає до задньої стінки конуса в зону кристалізації під дією сил тиску потоку електронів і пари металу на рідкий метал у кратері (мал. 10.2).



Мал. 10.2. **Схема руху рідкого металу при електронно-променевому зварюванні:** 1 – тиск електронного променя; 2 – тиск пари на передню стінку кратера; 3 – зона інтенсивного нагрівання; 4 – зона охолодження і кристалізації; 5 – шлях руху рідкого металу

Зварювання виконують як безперервним променем, так і в імпульсному режимі. Завдяки високій щільності енергії на одиницю площі (табл. 10.1) можна зварювати метал товщиною до 200 мм без розчищення кромок при співвідношенні глибини провару до ширини шва 25:1. На малій потужності зварюють вироби для мікроелектроніки й одержують шви зі співвідношенням глибини шва до його ширини 8:1.

Основними параметрами режиму є: прискорююча напруга U (вимірюється в кіловольтах), сила струму променя $I_{зв}$ (в міліамперах), швидкість зварювання $V_{зв}$ (в метрах за секунду), тривалість імпульсів і пауз (в

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

секундах), ступінь вакуумізації тощо. Складання деталей під зварювання вимагає високої точності: зазор при товщині металу до 5 мм становить 0,07 мм, до 20 мм – 0,1 мм. Відхилення променя від осі не повинно перевищувати 0,2–0,3 мм. Іноді при більших зазорах роблять додаткові бортики або застосовують присадний дріт. В останньому разі можлива металургійна обробка металу шва, тому доля присадного металу в ньому може становити 50 %.

Таблиця 10.1

Показники концентрації теплоти для джерел енергії

Джерело	Мінімальна площа плями нагрівання, мм^2	Максимальна щільність енергії, кВт/см^2
Ацетиленокиснева полум'я	1	50
Зварювальна дуга	0,1	100
Електронний промінь	0,00001	500 000
Світловий промінь оптичного квантового генератора	0,00001	1 000 000

Нержавіюча аустенітна сталь завтовшки 35 мм зварюється при U = 20…22 кВ, $I_{зв}$ = 500 А і $V_{зв}$ = 20 м/год; алюмінієвий сплав марки АМгб завтовшки 30 мм – при U = 23 кВ, $V_{зв}$ = 180 А і $V_{зв}$ = 30 м/год; вольфрам і тантал завтовшки 1 мм – при U = 20…22 кВ, $I_{зв}$ = 75…50 А і $V_{зв}$ = 50 м/год.

Висока концентрація енергії і можливість її переносу на значну відстань від катода дає можливість застосовувати електронний промінь при зварюванні у вузьких щілинах, виконанні проплавних швів тощо (мал. 10.3). При цьому значно зменшується зона термічного впливу, зварний шов і нагрітий метал не насичуються газами, витрачається в 4–5 разів менше енергії порівняно з дуговим зварюванням, значно зменшується жолоблення деталей.

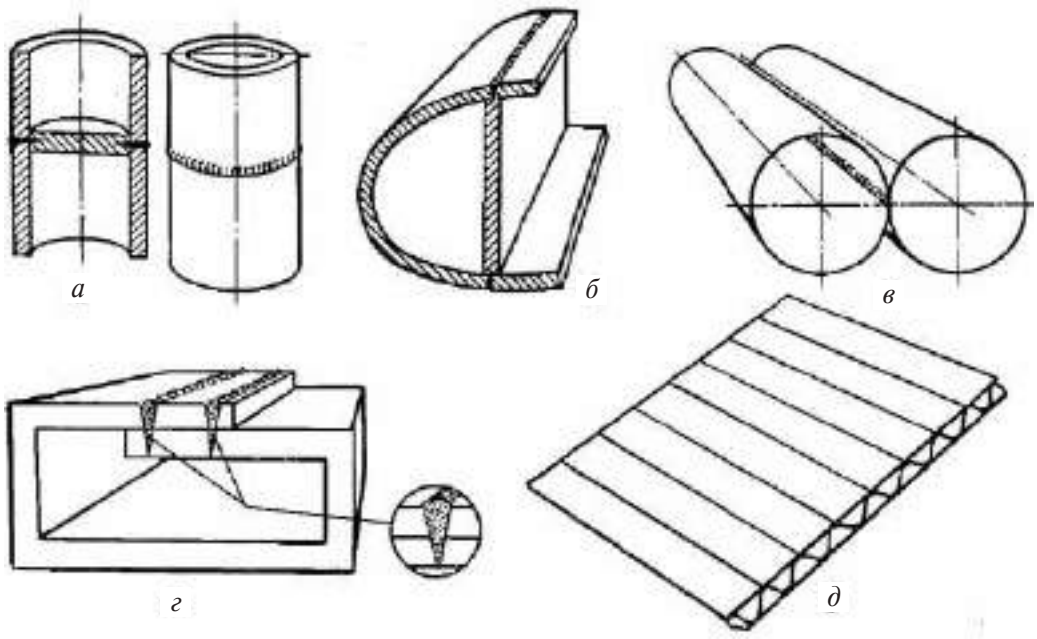
Установки для електронно-променевого зварювання складаються з двох основних комплексів: енергетичного (апаратура для формування та керування пучком електронів) й електромеханічного (апаратура для герметизації і вакуумування робочого об'єму, виконання всіх зварювальних, установочних і транспортних переміщень виробу та пушки). Головним вузлом установок є електронні пушки, які розподіляються за енергетичними характеристиками – прискорюючою напругою і потужністю. Вони і визначають галузь використання процесу.

Так, *низьковольтні пушки* ($U_{приск}$ = 20…30 кВ, P = 15 кВт) використовують для зварювання сталей товщиною до 30 мм, а алюмінієвих і ти-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

танових сплавів – до 50 мм. Це найпоширеніша група установок для зварювання у глибокому вакуумі.

Пушки із середньою прискорюючою напругою ($U_{\text{приск}}$ = 50...60 кВ, P = 60 кВт) застосовують для однопрохідного зварювання сталей товщиною до 100 мм у низькому вакуумі. *Пушки високовольтні* ($U_{\text{приск}}$ = 100...200 кВ, P = 100 кВт) призначені для однопрохідного зварювання сталей товщиною до 200 мм при зварюванні у низькому вакуумі та на повітрі. Наприклад, «Вулкан» – апарат для зварювання у космосі.



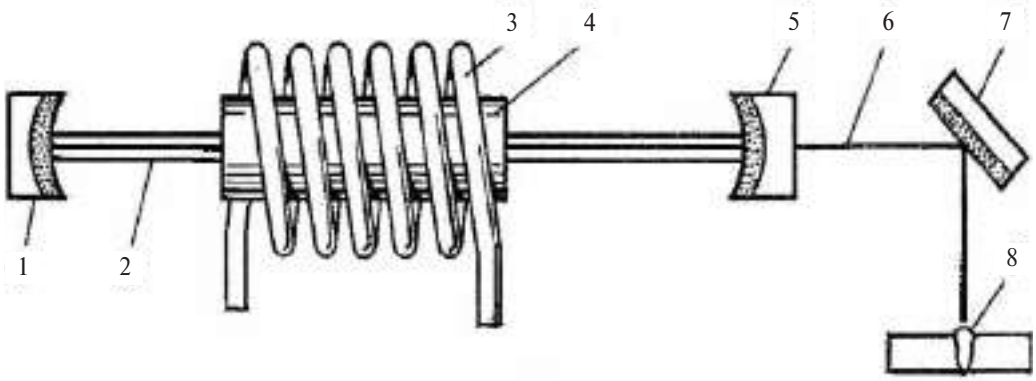
Мал. 10.3. **Типові конструкції, виконані електронно-променевим зварюванням:** *а, б* – труби з герметичними перегородками; *в* – дві паралельні труби; *г* – плоскі листи; *д* – гофрована вставка з листами

10.2. ЛАЗЕРНЕ ЗВАРЮВАННЯ (52)

Нагрівання і плавлення основного металу здійснюється за рахунок енергії світлового випромінювання, одержаного від оптичного квантового генератора. Лазерне випромінювання одержують таким чином. Внаслідок концентрації зовнішньої енергії (електричної, світлової, теплової, хімічної) джерелом 3 (мал. 10.4) атоми активної речовини випромінювача 4 переходять у збуджений стан. Через деякий період часу атом випромінює одержану енергію у вигляді фотона і повертається у попередній стан. Фотон є елементарною частинкою, порцією світла з нульовою масою у стані спокою, що рухається зі швидкістю світла у вакуумі.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При певному ступені збудженості перехід атомів активної речовини у стабільніший стан стає лавиноподібним. Виникає когерентне, вимушене, тобто пов'язане зі збудженням, світлове монохроматичне випромінювання 2, яке посилюється у випромінювачі внаслідок багатократного відбивання від стінок між двома дзеркалами, заднім 1 і переднім напівпрозорим 5. У деякий момент монохроматичне випромінювання, яке є електромагнітним випромінюванням однієї певної частоти, пропускається через напівпрозоре дзеркало 5 у вигляді вузьконаправленого пучка 6. Утворений лазерний промінь за допомогою оптичної системи 7 спрямовується в місце зварювання – на виріб 8. Завдяки високій щільності енергії на виробі утворюється таке ж кинджалоподібне проплавлення, як і при зварюванні електронним променем.



Мал. 10.4. **Схема лазерного зварювання**

У наведеній схемі для накачування застосовується імпульсна гелієва лампа, на яку подається напруга близько 18 кВ. Речовиною випромінювача слугують твердотільні кристали рубіна, граната або вуглекислий газ. Випромінювачі на кристалах працюють в імпульсному режимі і мають низький ККД, приблизно 0,1 %, їх потужність мала – 0,015–2 кВт. Газові лазери мають більшу потужність і можуть працювати в безперервному й імпульсному режимах.

Імпульсні лазери використовують для зварювання вузлів електровакуумних приладів із тугоплавких матеріалів, а також пакетів із тонких пластин при виготовленні магнітопроводів. Шовне лазерне зварювання доцільне при з'єднанні деталей, до яких висуваються високі вимоги щодо відсутності зварювальних деформацій і високої чистоти поверхні швів.

Основні характеристики лазерних установок такі. Апарат «Квант-16» застосовують для точкового зварювання. При діаметрі точки 0,4–1,4 мм глибина проплавлення становить 0,7 мм, тривалість імпульсу 6–7 мс, а продуктивність досягає 30 точок за хвилину. Апарат «Квант-17» при-

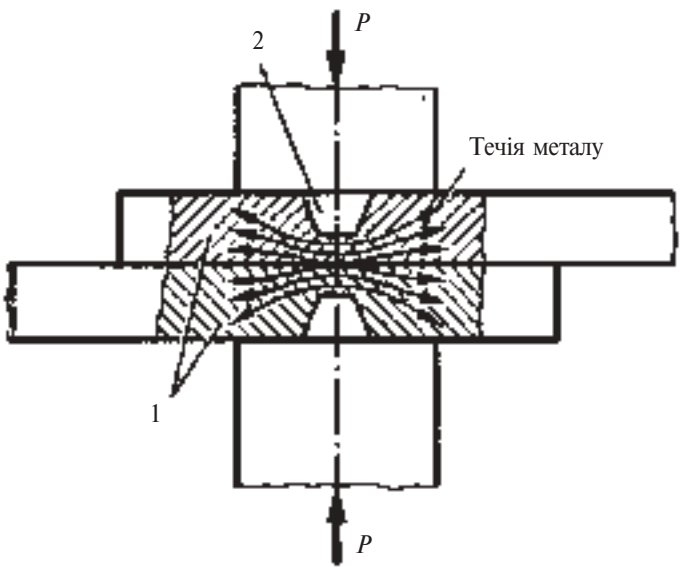
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

значений для шовного зварювання шляхом постановки точок, що перекривають одна одну, діаметром 0,5–0,8 мм з глибиною проплавлення 0,15 мм. При тривалості імпульсу 0,4 мс швидкість зварювання становить 500 мм/хв.

Перевагою лазерного зварювання є можливість передавати енергію через прозорі оболонки на значну відстань, виконання зварювальних робіт на повітрі, у захисній атмосфері або у вакуумі. Лазерний промінь, окрім зварювання, використовують також для різання, утворення отворів і термообробки у радіоелектроніці, мікроелектроніці та інших галузях. Наприклад, ZIS 738 – газолазерне різання.

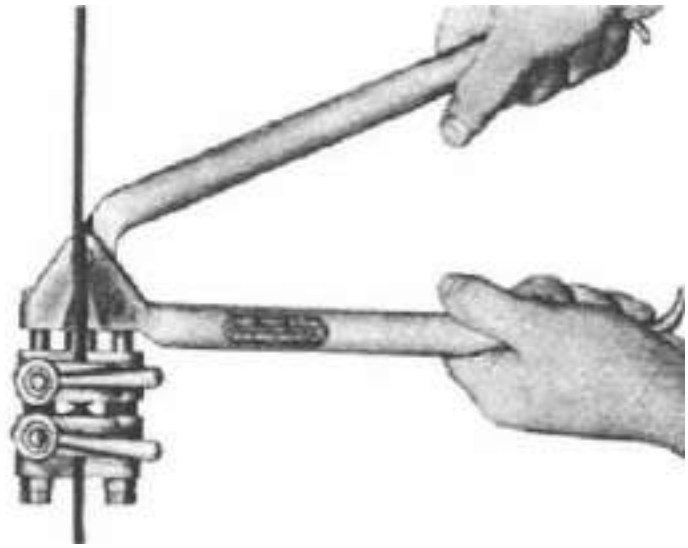
10.3. ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Фізико-хімічною основою холодного зварювання є створення металевих зв'язків між атомами з'єднуваних поверхонь, які наближаються до безпосереднього контакту на міжатомні відстані. Для його здійснення треба зруйнувати мікронерівності, оксидні плівки, адсорбовані газові утворення і жирові забруднення. Це досягається завдяки значній об'ємній пластичній деформації під дією прикладеного зусилля і малого ступеня її локалізації в зоні контакту. Така деформація забезпечує згладжування мікронерівностей, розрив оксидних і газових плівок, їх дробіння, видавлювання завдяки пластичній текучості металу й утворенню чистих (ювенільних) поверхонь, здатних до схоплювання і до зварювання (мал. 10.5).



Мал. 10.5. **Схема холодного зварювання деталей (1) вдавлюванням пуансонів (2)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 10.6. **Холодне стикове зварювання проводів, за допомогою кліщів КС-6**

Холодна зварюваність залежить від пластичності та якості підготовки поверхонь металу. Чим пластичніші метали, чим рівніші й чистіші поверхні, тим краще вони зварюються. Найкраще зварюються чисті метали: алюміній, мідь, нікель, срібло, золото- й різнорідні комбінації з цих металів завтовшки 0,2–15 мм. Головними параметрами режиму є тиск (150–1000 МПа) і ступінь відносної деформації (50–90 %).

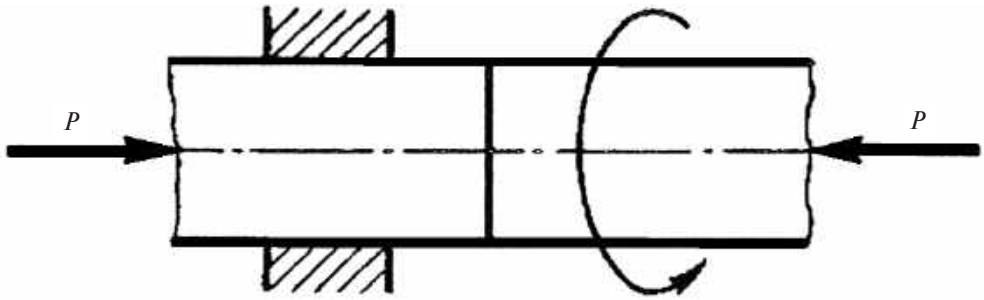
Листові конструкції зварюють внапустку, шляхом однобічного чи двобічного вдавлювання пуансонів, ширину або діаметр яких вибирають залежно від товщини S зварюваного металу, $d_{п} = (1...3)S$. Шовне з'єднання виконують вдавлюванням пуансона або обкатуванням ролика по всьому периметру. Стрижні, полоси, дроти зварюють встик, причому величина вильоту стрижня становить для алюмінію $(1...2)d$, для міді – $(1{,}25...1{,}5)d$, де d – діаметр стрижня. При зварюванні різнорідних металів ступінь деформації визначається властивостями металу, для якого потрібна менша деформація. Виліт мідного стрижня при з'єднанні алюмінію з міддю має бути на 30–40 % більшим, ніж алюмінієвого.

Цей простий, досить надійний і малоенергоємний спосіб найпоширеніший у виготовленні домашніх виробів з алюмінію, в електротехніці і транспорті для зварювання мідних, алюмінієвих дротів, для одержання біметалевих з'єднань мідь-алюміній, які неможливо отримати іншими способами зварювання. Використовується як стандартне пресове і прокатне обладнання зі спеціальним інструментом і оснащенням, так і спеціалізоване, що може бути ручним і механізованим (мал. 10.6).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

10.4. ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ (42)

Нагрівання двох зварюваних деталей здійснюється в місці їх контакту за рахунок перетворення механічної енергії в теплову при терті. На мал. 10.7 дві з'єднувані встик деталі – одна нерухома, а інша обертається навколо їх спільної осі – притискаються одна до одної осьовим зусиллям P. На спряжених поверхнях зварюваних деталей виникають сили тертя. Робота, витрачена на долання цих сил (моментів) тертя, перетворюється в теплоту безпосередньо в тонких приповерхневих шарах зварюваних деталей.



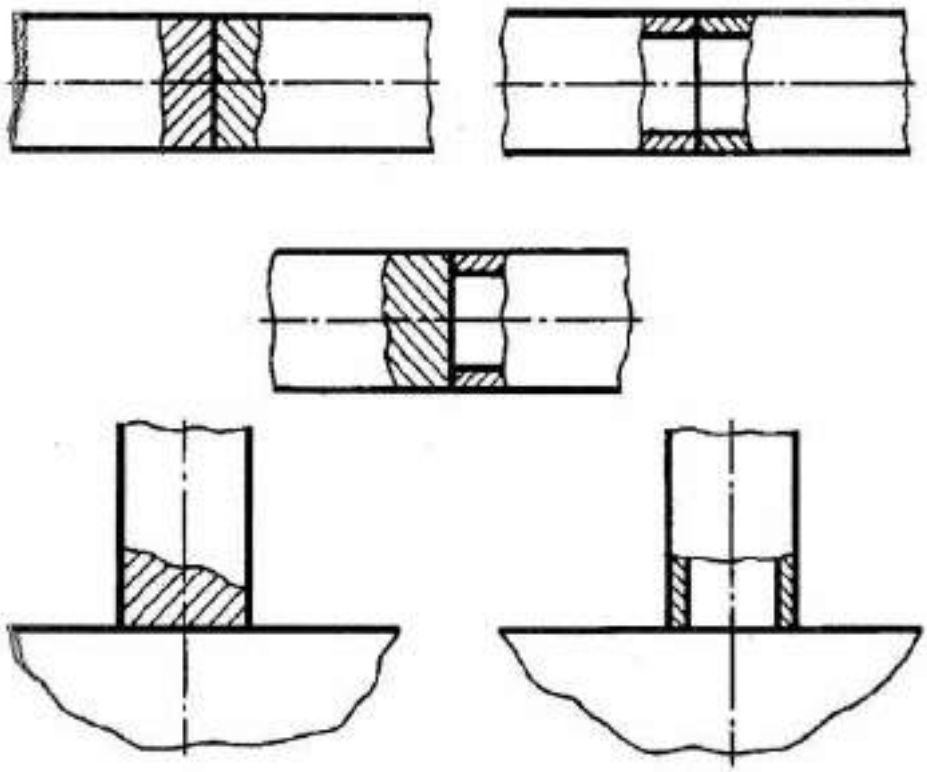
Мал. 10.7. **Схема процесу зварювання тертям**

Зварювання проходить у твердому стані без розплавлення, а зварне з'єднання утворюється при сумісній пластичній деформації, нагріванні і стисканні за рахунок виникнення металевих зв'язків між ювенільними поверхнями внаслідок руйнування плівок і видалення їх у радіальному напрямку. Винахідником цього способу став токар-новатор А. Чудиков, який уперше зварив два стрижні на звичайному токарному верстаті.

Основними параметрами режиму зварювання є швидкість обертання зварюваних деталей, осьове зусилля при нагріванні і куванні, величина осадки, тривалість дії зусилля кування. Так, при зварюванні заготовок із вуглецевої сталі діаметром 50 мм частота обертання становить 400 хв$^{-1}$, осьове зусилля при нагріванні 100 кН (при куванні – 200 кН), час нагрівання 20 с, час проковки 2 с. Типові форми зварних з'єднань, які одержують зварюванням тертям, наведено на мал. 10.8. Хоча б одна з деталей повинна мати компактну форму поперечного перерізу.

Перевагою цього способу є висока продуктивність, малі витрати енергії (в 5–10 разів менші, ніж при стиковому контактному зварюванні), висока якість зварних з'єднань різних комбінацій металів і сплавів. Для зварювання використовують універсальні і спеціалізовані машини, в основному типу МСТ, МСТ-23, МСТ-35, МСТ-41.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 10.8. **Конструкції зварних з'єднань, виконаних зварюванням тертям**

10.5. УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ (41)

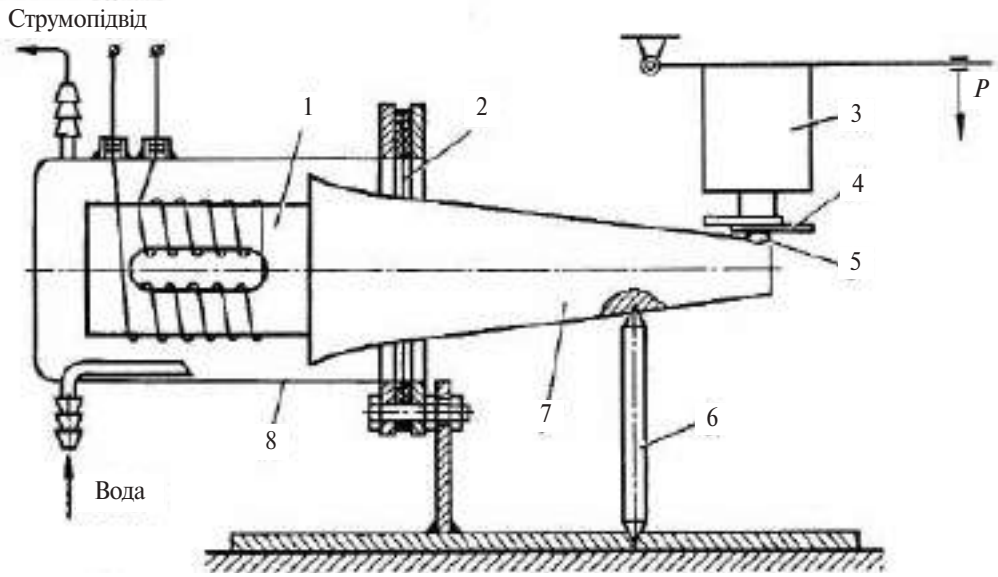
З'єднання утворюється за рахунок сумісної дії на зварювані деталі механічних коливань високої частоти і відносно невеликих стискаючих зусиль. Для одержання таких коливань використовується магнітострикційний ефект – зміна розмірів деяких матеріалів (нікелю, залізокобальтового сплаву пермендюра) у змінному магнітному полі відповідно до частоти цього поля.

Основним вузлом машини для ультразвукового точкового зварювання (мал. 10.9) є магнітострикційний перетворювач 1, обмотка якого розташована в корпусі 8. Він живиться від джерела струму високої частоти і охолоджується водою.

Для збільшення амплітуди зміщення хвилевода, концентрації енергії коливань і для передавання їх до місця зварювання слугують хвилевід або концентратор 7, закріплений на маятниковій опорі 6. На його кінці є робочий виступ 5. Діафрагма 2 ущільнює корпус охолодження. При зварюванні виріб 4 затискується між робочим виступом 5 і механіз-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

мом натискання 3, до якого прикладається зусилля P. Високочастотні пружні коливання передаються через хвилевід на робочий виступ 5 у вигляді горизонтальних механічних переміщень високої частоти 20–30 кГц з амплітудою 20–40 мкм. Внаслідок переміщень у тонких шарах контактуючих поверхонь виникають зсуваючі деформації, що руйнують поверхневі плівки. При цьому утворюються вузли охоплення, приповерхневі шари металу нагріваються, пом'якшуються і під дією стискаючого зусилля пластично деформуються, а зварювані поверхні зближаються до відстані дії міжатомних сил, утворюється міцне зварне з'єднання.



Мал. 10.9. **Схема установки для точкового зварювання ультразвуком**

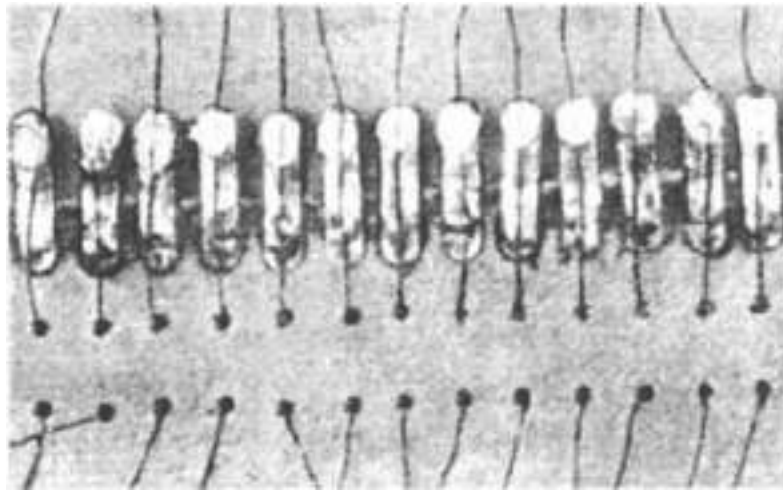
Температура нагрівання в зоні контакту невисока: для міді не більше 600°С, для алюмінію 200–300°С. За таких умов структура і властивості при зварюванні практично не змінюються.

Основними параметрами режиму зварювання є потужність генератора коливань, амплітуда коливань, тиск і час зварювання.

Ультразвукове зварювання застосовують для одержання точкових і шовних з'єднань металів і сплавів невеликої товщини (менше 1 мм) і зварювання пластмас. Завдяки специфіці процесу можна зварювати хімічно активні метали і сплави, тонкі і надтонкі деталі, наприклад, тонкі мідні дроти до клемних коробок (мал. 10.10) тощо. Використовується в приладобудуванні і радіоелектроніці.

Для зварювання застосовують спеціалізовані й універсальні машини, наприклад, марок МТУ-04, КТУ-1,5, МТУ-0,63.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 10.10. **Мідні дроти діаметром 0,3 мм, покриті лаковою ізоляцією, приварені ультразвуком до клемної коробки без зачищення ізоляції**

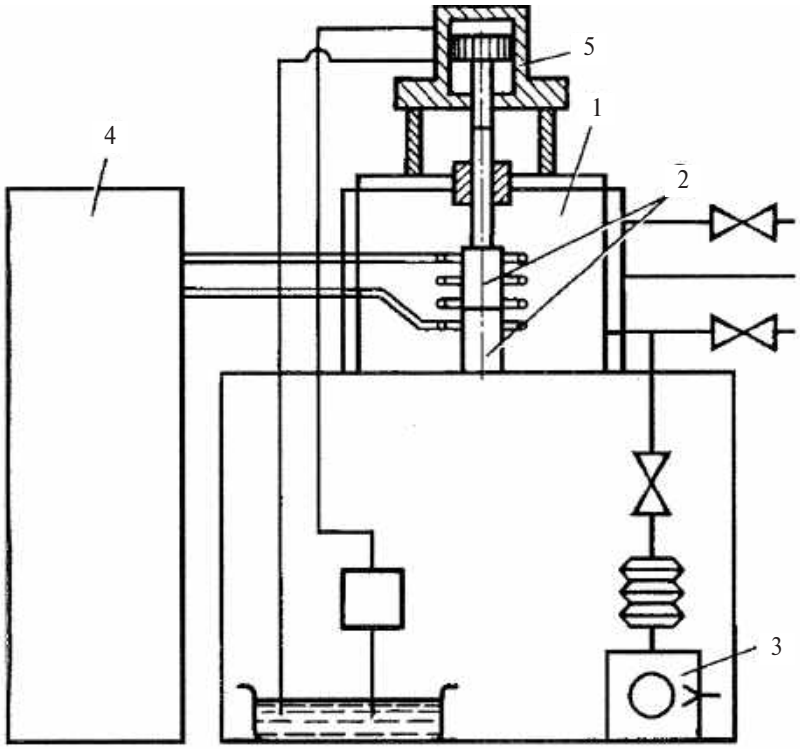
10.6. ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ (45)

Винайшов цей спосіб зварювання М. Казаков. Зварювання здійснюється у твердому стані внаслідок стискання зварюваних деталей, які нагріті до деякої температури, в умовах глибокого вакууму. Установка (мал. 10.11) має вакуумну робочу камеру 1, в якій розміщуються зварювані деталі 2, а розрідження $133 \cdot 10^{-3} – 133 \cdot 10^{-5}$ Па створюється за допомогою вакуумної системи 3. Вона складається з форвакуумного і паромасляного насосів, трубопроводів, комутаційної і контрольної апаратури.

Нагрівання зварюваних деталей, яке здійснюється системою 4, може бути індукційним (найчастіше), радіаційним, контактним тощо. Стискання деталей здійснюється системою 5 (гідравлічне – найчастіше, механічне, пневматичне тощо). На першій стадії процесу на лінії розподілу двох деталей виконуються умови для виникнення металевих зв'язків – зминання мікронерівностей, руйнування і видалення плівок оксидів і різного роду забруднень. Підвищена температура сприяє цим процесам – потрібні менші зусилля, а вакуум запобігає утворенню нових плівок і насиченню газами поверхневих шарів деталей.

На другій стадії йдуть процеси взаємної дифузії атомів зварюваних матеріалів з утворенням проміжних прошарків, які іноді збільшують міцність з'єднання, а в деяких випадках, наприклад, при зварюванні пар сталь-алюміній, сталь-титан послаблюють її внаслідок високої крихкості.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 10.11. **Схема дифузійного зварювання у вакуумі**

Основні параметри режиму дифузійного зварювання такі.

Температура нагрівання – при зварюванні однорідних матеріалів становить 0,5–0,8 від температури плавлення металу або сплаву, при зварюванні різнорідних – 0,5–0,7 від температури легкоплавкішого металу.

Тиск у контакті, залежить від температури і роду зварюваних матеріалів, може змінюватися від 3–5 до 100 МПа.

Тривалість нагрівання становить від кількох до десятків хвилин.

Орієнтовні параметри режиму зварювання титанових сплавів такі: $T = 800…1000^{\circ}C$, $P = 5…10$ МПа, $t = 5…10$ хв.

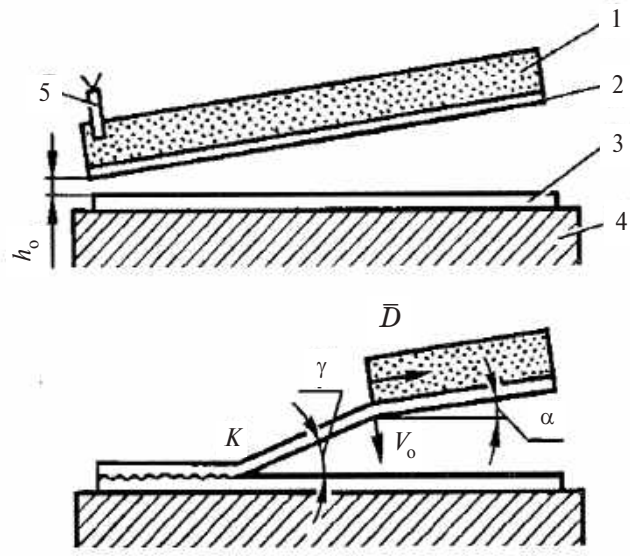
Основною перевагою дифузійного зварювання є можливість одержання різнорідних з'єднань із високим рівнем фізико-хімічних властивостей. При загрозі утворення крихких прошарків використовують проміжну прокладку або підшар у вигляді фольги, порошку тощо й коригують параметри режиму.

Розроблено багато установок дифузійного зварювання різного призначення. Наприклад, установка СДВУ-15М потужністю 64 кВт з діаметром робочої камери 0,35 м і висотою 0,39 м для нагрівання зварюваних деталей до $1600^{\circ}C$ індукційним способом забезпечує тиск 100 кН гідравлічним способом.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

10.7. ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ (441)

Суть способу зварювання вибухом полягає в установленні міжатомних зв'язків у процесі високошвидкісного співударяння деталей, яке здійснюється за рахунок енергії вибухових речовин (ВР) з великою питомою потужністю (мал. 10.12).



Мал. 10.12. **Схема зварювання вибухом**

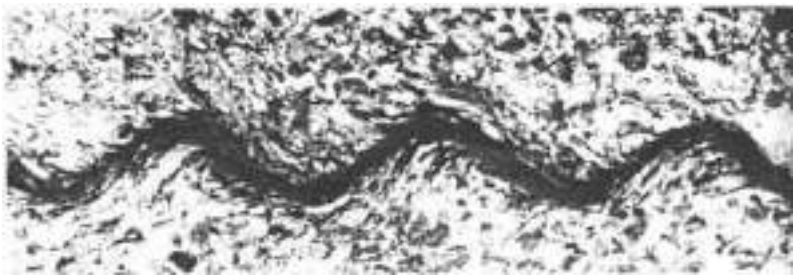
Зварювані пластини 2 і 3 розміщуються на деякій початковій відстані h_0 одна від одної під кутом α. Нерухому пластину 3 звичайно кладуть на тверду основу 4, а заряд ВР 1 – на поверхню металевої пластини 2. Після підриву заряду ВР детонатором 5 пластина 2 під дією продуктів вибуху одержує швидкість V_0 приблизно кілька сотень метрів за секунду, а оскільки швидкість детонації ВР D кінцева, точка контакту K пересувається вздовж поверхні нерухомої пластини зі швидкістю $V_к$. При сталому процесі верхня пластина двічі перегинається і її похила ділянка під кутом γ рухається зі швидкістю D за фронтом детонаційної хвилі. При співударянні з вершини кута видаляються поверхневі плівки і забруднення, утворюється течія металу в поверхневих шарах і охоплення по всій площі з'єднання з характерною границею зварювання (мал. 10.13). Тривалість зварювання становить кілька мікросекунд.

Основними параметрами режиму зварювання вибухом є первинний кут α (вимірюється у градусах) нахилу верхньої пластини відносно нижньої, відстань між пластинами h_0 (у міліметрах), висота шару ВР (у міліметрах), швидкість детонації ДВР (залежить від природи ВР).

Цей спосіб зварювання використовують при виготовленні заготовок із біметалів, наприклад, сталь + алюміній, сталь + титан та інших, якісне

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

з'єднання яких можливе лише зварюванням у твердій фазі без нагрівання. Роботи по зварюванню вибухом виконують на спеціальних полігонах.



Мал. 10.13. **Поздовжній переріз з'єднання мідних пластин, одержаного зварюванням вибухом**

З урахуванням особливостей конструкційних матеріалів, специфіки способів і використання обладнання в табл. 10.2 наведено підсумкові відомості щодо можливості зварювання.

Таблиця 10.2

Можливості використання деяких спеціальних способів зварювання

Види зварювання	Вид обробки						
	електронно-променеве	лазерне	холодне	ультразвукове	дифузійне	вибухом	тертям
Зварювання активних і тугоплавких металів	+	±	–	±	+	±	–
Зварювання біметалів:							
з пластичних складових	–	–	+	±	–	±	+
з малопластичних складових	–	–	–	±	±	±	+
тонких і супертонких	–	±	–	+	+	–	–
товстостінних тонких до товстих	±	–	±	–	–	±	±
	–	±	–	+	–	±	–
Зварювання пластмас	–	–	–	±	–	–	±
Зварювання металів з неметалами	–	–	–	–	±	–	±
Виконання отворів	–	+	–	–	–	–	–

Примітка: «+» – зварювання доцільне; «±» – зварювання обмежене; «–» – зварювання недоцільне або відсутня надійна інформація.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть електронно-променевого зварювання? Які його переваги і недоліки?
2. Яка фізико-хімічна основа лазерного зварювання? Які галузі використання, переваги і недоліки цього способу?
3. У чому полягає суть холодного зварювання? Які його галузі використання, переваги і недоліки?
4. У чому полягає суть зварювання тертям? Які його галузі використання, переваги і недоліки?
5. Завдяки чому здійснюється ультразвукове зварювання? Які його галузі використання, переваги і недоліки?
6. У чому полягає суть дифузійного зварювання у вакуумі? Які його галузі використання, переваги і недоліки?
7. У чому полягає суть зварювання вибухом? Які його галузі використання, переваги і недоліки?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 11

МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ

Робота металоконструкцій пов'язана з їхньою здатністю протидіяти руйнуванню внаслідок впливу зовнішніх (дія прикладеної сили, тиск робочого середовища, інші види навантажень) і внутрішніх (зміна температури виробу в процесі експлуатації, структурні перетворення в металі під впливом зовнішнього навантаження, проведення зварювальних чи різальних робіт при ремонті тощо) сил. Зовнішні навантаження можуть бути статичними (постійно діючими під час експлуатації виробу), динамічними (змінними за величиною і напрямком) і ударними.

11.1. СИЛИ, НАПРУЖЕННЯ І ДЕФОРМАЦІЇ У ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Розміри поперечних перерізів в'язей металоконструкцій вибираються залежно від величини і виду діючих навантажень, міцнісних характеристик металу, наявності корозійних факторів тощо. Все це предмет розгляду спеціального курсу – опору матеріалів. Припустимо, що до кінців стрижня довжиною L (мал. 11.1, *а*) прикладена сила P, яка його розтягує. Під дією цієї сили стрижень розтягується і стає довшим на величину деформації ΔL – абсолютного подовження, відношення якого до первинної довжини називається відносним подовженням:

$$\delta = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100\ \%.$$

Якщо діючу силу розтягування розділити на площу поперечного перерізу деталі до її руйнування, то отримаємо величину діючих напружень в ній:

$$\sigma_р = \frac{P}{F},$$

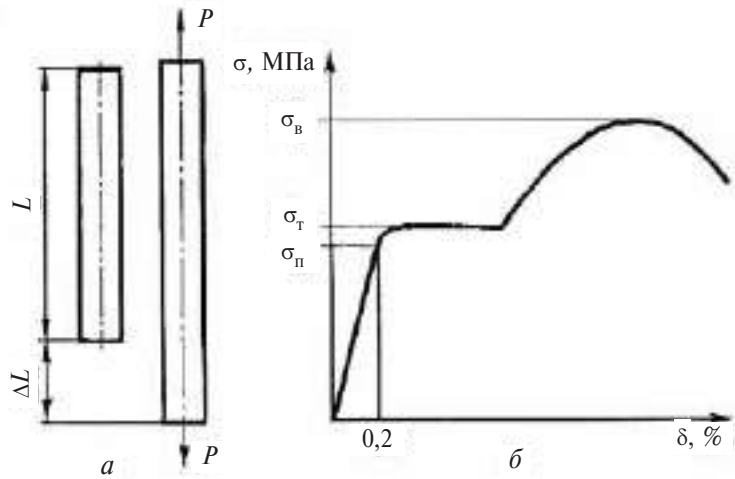
де $\sigma_р$ – напруження розтягування; P – розтягальна сила; F – площа поперечного перерізу.

Якщо форма і розміри стрижня відновлюються після закінчення дії сили, така деформація називається пружною, і вона буде такою до тих пір, поки сила не перевищить величину, що називається границею пружності (мал. 11.1).

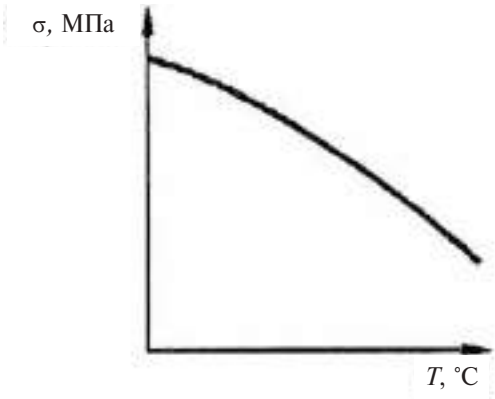
При перебільшенні цієї границі з'являється деформація, яка лишається пластичною, і їй відповідає значення границі текучості $\sigma_т$. При подальшому зростанні діючої сили міцність збільшується до значення $\sigma_в$

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

(тимчасовий опір розтягнення); після чого наступає руйнування зразка. Пружна деформація для низьковуглецевих сталей незначна і не перевищує 0,2 % в той час, як пластична залежить від властивостей металу й умов навантаження. Так, із підвищенням температури пластична деформація виникає при менших напруженнях чи зусиллях, ніж у холодному стані металу (мал. 11.2).



Мал. 11.1. **Подовження стрижня при розтягуванні (*а*) і діаграма розтягування сталі (*б*):**
$\sigma_п$ – границя пружності; $\sigma_т$ – границя текучості; $\sigma_в$ – тимчасовий опір розтягненню



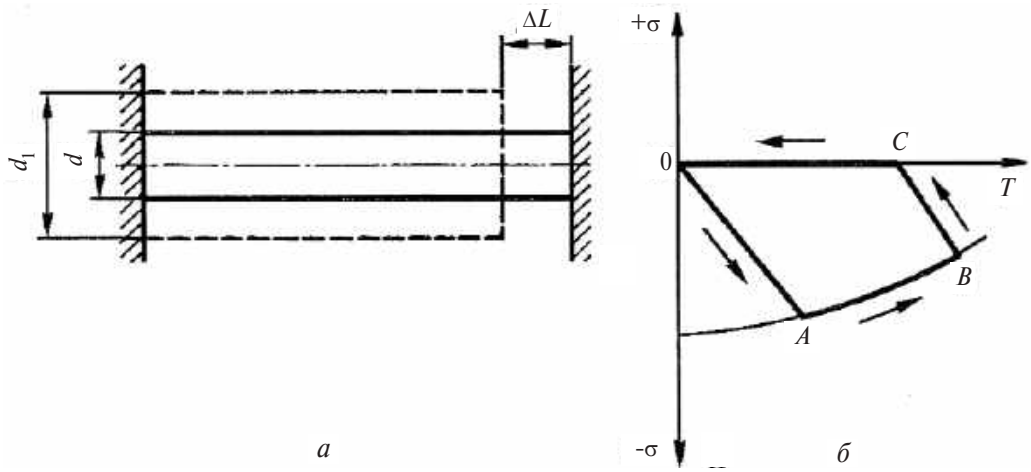
Мал. 11.2. **Залежність границі текучості від температури**

Відомо, що метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні – стискуються, при зміні температури змінюється їхня структура, що веде до перегрупування атомів з одного типу кристалічної решітки в інший, що супроводжується збільшенням чи зменшенням об'єму. В результаті

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

виникають значні внутрішні напруження. Якщо процеси нагріву та охолодження протікають в умовах рівномірного, вільного від опору розширення і стискування, окремі частини тіла зміщуються на однакову величину і внутрішні напруження не виникають.

У процесі зварювання напруження виникають в результаті нерівномірного нагрівання основного металу, ливарної усадки шва і структурних змін при охолоджуванні. Під час зварювання основний метал, що прилягає до шва, пластично стискується: вільне температурне розширення його неможливе, тому що сусідні ділянки відносно холодні. Після зварювання й охолодження зварного з'єднання ці холодні ділянки перешкоджають вільному вкороченню металу шва і пластично стиснутого при нагріванні основного металу. Після вирівнювання температури зварний шов і прилягаючий до нього основний метал є розтягнутими, а решта ділянок зварного з'єднання – стиснутими, внаслідок чого і з'являються власні напруження. Як приклад розглянемо рівномірне нагрівання й охолодження (мал. 11.3) стрижня, стиснутого між двома нерухомими стінками, що не дають змоги йому подовжуватися при нагріванні, але допускають укорочення при охолодженні.



Мал. 11.3. **Схема нагрівання і охолодження стрижня, затиснутого між стінками (*а*), і залежність напружень від температури нагрівання (*б*)**

При нагріванні у стрижні з'являться напруження (лінія *OA*, мал. 11.3, *б*), які б могли зумовити пружні деформації, але цьому протидіють стінки; тому в стрижні залишається напруження стиску. З підвищенням температури вони зростають, досягаючи межі текучості (точка *A*), спричинюючи вже пластичну деформацію стиску стрижня (лінія *AB*). При укорочуванні стрижня його діаметр (переріз) збільшується, а довжина не змінюється. При охолодженні стрижень розвантажується від напружень (лінія *BC*) до нуля (точка *C*). Починаючи з цього моменту (лінія *CO*)

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

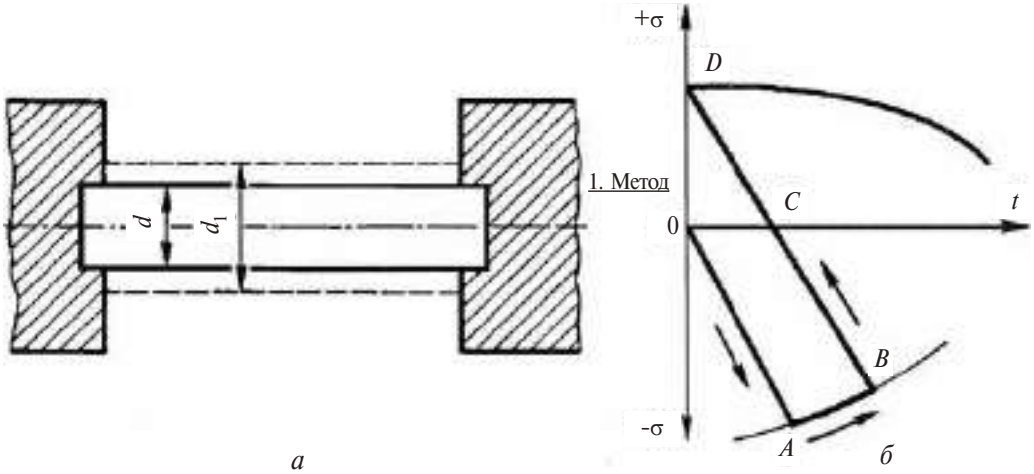
при подальшому охолодженні стрижень втрачає контакт з опорними стінками й вільно укорочується без появи нових внутрішніх напружень. При повному охолодженні стрижень буде мати залишкову деформацію:

$$\Delta L = \alpha L T,$$

де α – термічний лінійний коефіцієнт; L – довжина стрижня; T – температура нагрівання.

Хоча залишкових напружень немає, з'являється деформація (збільшення перерізу) стрижня ($d_1 > d$). Така ситуація має місце при зварюванні незакріплених деталей, коли деформація спрямована поперек шва.

Другий випадок можна розглянути на прикладі, коли кінці стрижня щільно стиснуті (мал. 11.4). Під час нагрівання всі процеси такі ж, як і у попередньому випадку, однак при охолодженні вільному укороченню заважає стискання стрижня. Виникають розтягуючі напруження (лінія *CD*), які при досягненні межі текучості (точка *D*) зумовлюють витяжку металу по довжині стрижня, чому буде протидіяти щільне стиснення. Внаслідок цього після повного охолодження стрижень матиме початкові геометричні розміри, але в ньому з'являться залишкові напруження, які дорівнюють границі текучості. При звільненні стрижня від защемлення після повного охолодження він покоротшає на величину 0,2 % (для сталей), що відповідає деформації в рамках пружних напружень. Таким чином можна пояснити появу напружень і деформацій, що діють паралельно зварному шву. Виникаючі пластичні повздовжні і поперечні деформації спричинюють зміну форми і геометричних розмірів конструкцій, а наявність залишкових напружень у металах із низькою пластичністю призводить до появи тріщин у зварних з'єднаннях.



Мал. 11.4. **Схема нагрівання й охолодження стрижня, защемленого між твердими стінками (*а*) і залежність напружень від температури нагрівання (*б*)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Під час зварювання сталей, які гартуються, з'являються структурні напруження, що пов'язано з утворенням мартенситу, щільність якого менша, ніж фериту чи перліту. Тому ділянку з мартенситною структурою порівнюють зі стрижнем, який має перешкоду для розширення. При охолодженні такої ділянки напруження руйнівної величини спричиняє появі тріщин у будь-якому напрямку зварного з'єднання (мал. 11.5).

Мал. 11.5. **Холодні тріщини внаслідок утворення мартенситної структури у пришовній зоні при зварюванні сталі 35ХЗНЗМ (х100)**

Таким чином, залишкові напруження і деформації в металоконструкціях утворюються від поздовжньої і поперечної усадки під час зварювання. Характер загальної деформації, як і поздовжньої деформації, залежить від розміщення швів відносно осі, яка проходить через центр ваги поперечного перерізу зварюваної конструкції, від режиму нагрівання, розмірів та форми самої конструкції і її окремих елементів. Загальну деформацію поділяють на три різновиди:

1. *Укорочення довжини чи висоти конструкції.* Цей вид характерний для виробів, у яких шви мають однакові перерізи, симетрично розташовані відносно поздовжньої осі конструкції і паралельно їй (двотаврові балки, балки коробчастого перерізу, ребристі труби тощо).

2. *Поперечний вигин (прогин) виробу.* Характерний для конструкцій зі зміщеним центром ваги поперечних перерізів швів відносно центра ваги поперечного перерізу всього виробу (зварні труби з прямолінійним швом, балки таврового перерізу тощо).

3. *Викривлення конструкції від втрати стійкості стиснутих елементів у вигляді здуття, хвилястості, викривлення форми* (баки, коро-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

би, оболонки і вироби першої і другої групи, де тонкостінні стиснуті елементи втрачають стійкість). Від поздовжньої і поперечної усадки з'являються напруження, що діють у поперечному напрямку до лінії шва; при цьому найбільш небезпечними є напруження від поперечної усадки. Їхніми причинами є неодночасність нагрівання й охолодження металу по довжині шва, нерівномірність нагрівання і охолодження шва по товщині металу, жорсткість зварюваних елементів, закріплення елементів у процесі нагрівання й охолодження металу.

Міцність і висока роботоспроможність зварних конструкцій може бути досягнута лише за умови виконання конструктивних і технологічних вимог щодо зменшення власних напружень і деформацій при зварюванні.

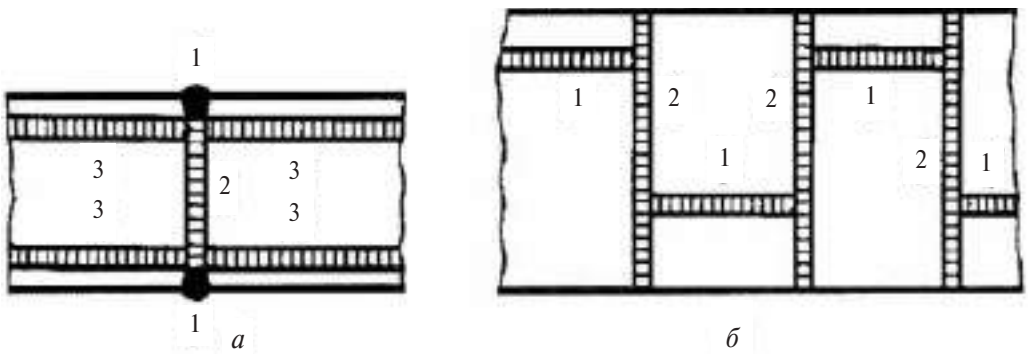
11.2. МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ НАПРУЖЕНЬ

Для зменшення власних напружень у процесі зварювання потрібно:

1. Зварювання незакріплених деталей виконувати на підвищеній погонній енергії. Це збільшує об'єм розігрітого металу і зменшує швидкість охолодження. При зварюванні великих товщин і сталей, що загартовуються, необхідний попередній (а інколи і супутній) підігрів.

Під час зварювання встик жорстко закріплених деталей необхідно навпаки – знижувати погонну енергію, зменшуючи тим самим поперечну усадку, застосовувати багатошарове зварювання, причому перші шви виконувати позмінно по кромках розчищення, а потім заповнювати середину шва.

2. У першу чергу зварювати шви, які менш напружені. Наприклад, оскільки поперечна усадка стикових швів більша, ніж кутових, то стикові шви треба виконувати першими (мал. 11.6, *а*). При зварюванні циліндричних виробів спочатку виконують стикові шви кожної обичайки, після чого останні зварюють між собою кільцевими швами (мал. 11.6, *б*).



Мал. 11.6. **Послідовність виконання зварних швів при зварюванні балок (*а*) і обичайок (*б*)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

3. Зварювання швів виконувати напрохід або від середини до країв.

4. Збиральні прихватки мають знаходитися від перерізу швів не ближче 500 мм.

5. Зменшувати зазори в стикових швах і глибоко проварювати корінь шва, а сам процес виконувати швидко, щоб метал шва по товщині і довжині охолоджувався рівномірно.

6. Шви великих перерізів виконувати багатошаровими, «каскадом» або «гіркою», щоб реалізувати ефект часткового відпуску.

7. Досягати рівномірного і помірного охолодження.

8. Досягати високої точності складання під зварювання.

9. Зварювання виконувати в спеціальних кондукторах із затискачами, які жорстко закріплюють деталі або дають змогу їм переміщуватися при усадці швів.

10. Збиральні прихватки надійно переварювати.

11. Виконувати проковку зварного шва відразу після зварювання. При цьому осаджується метал по товщині і утворюється пластична деформація подовження в площині, перпендикулярній до напрямку удару. Цим досягається зменшення розтягальних чи навіть поява стискаючих залишкових напружень.

12. Прикладати статичне або динамічне навантаження під час зварювання з метою утворення розтягальних напружень для зменшення залишкових напружень розтягнення й усадкової сили внаслідок пластичної деформації.

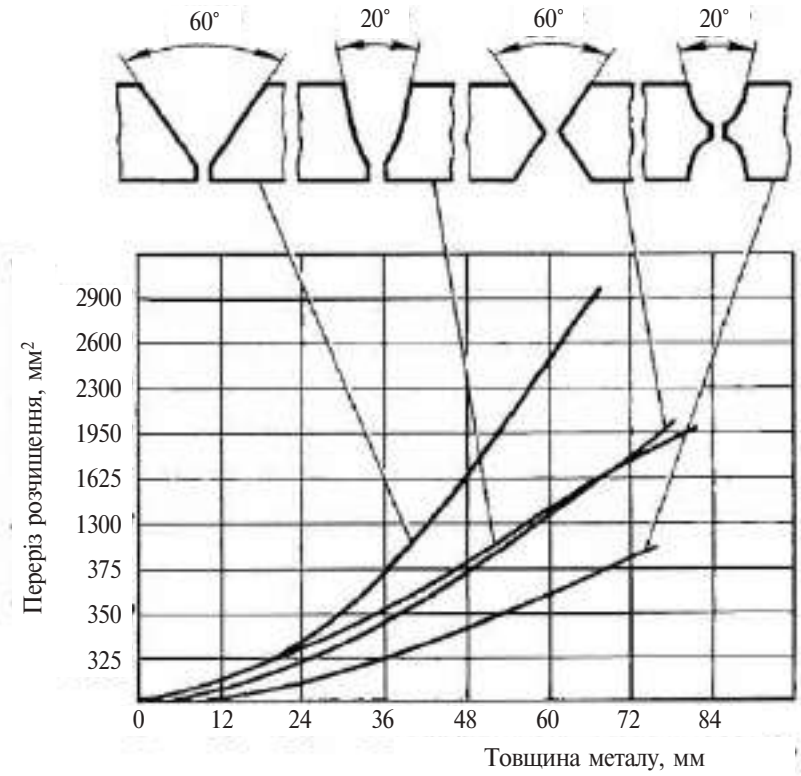
13. Застосовувати термообробку звареної конструкції (загальний чи місцевий високий відпуск), що значно (на 70–90 %) знижує зварювальні напруження. Кращі результати отримують після нормалізації, коли додатково можна зменшити розмір зерна в зоні термічного впливу. На жаль, проведення термообробки не завжди є доступною операцією.

11.3. МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ

Оскільки при зварюванні виробів неможливо повністю запобігти залишковим деформаціям, застосовують такі способи зварювання, які дають змогу одержувати зварні конструкції з мінімальними змінами форми. Для цього слід використовувати конструктивні й технологічні прийоми. До перших належать:

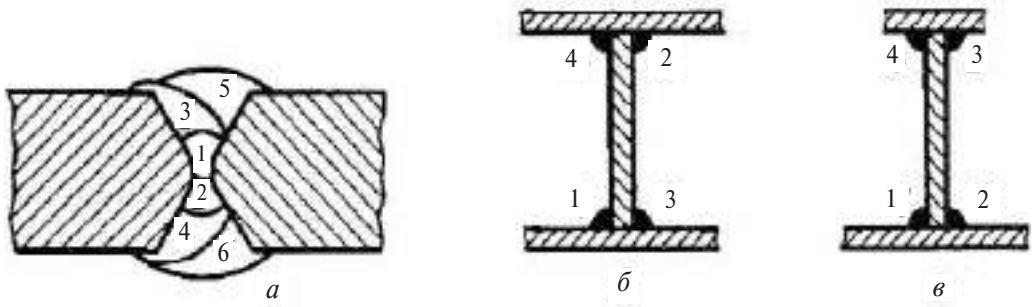
1. Зменшення кількості зварних швів та їх перерізу; використання висококонцентрованих джерел тепла (за ступенем підвищення концентрації – газове зварювання, ручне дугове штучним електродом, автоматичне під флюсом, зварювання у середовищі захисних газів); заміна Г-подібного розчищення на Х-подібне – при багатошаровому зварюванні (мал. 11.7) – чим менше наплавленого металу, тим менше деформації.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 11.7. **Залежність між товщиною металу, формою і перерізом розчищення**

2. Проведення двостороннього зварювання; симетричне розташування швів і раціональна послідовність їх виконання (мал. 11.8) – для зрівноваження деформацій.



Мал. 11.8. **Послідовність виконання зварних швів на виробах з перерізами:** *а, б* – симетричними; *в* – несиметричними

3. Симетричне розташування ребер жорсткості та мінімальне використання накладок і косинок.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

4. Вибираючи параметри режиму зварювання, забезпечити зменшення ширини зони нагрівання і щільності зварювального струму, щоб нагрівання по товщині було рівномірним, а провар кореня шва був глибшим. Треба також підвищувати погонну енергію для збільшення зони нагрівання під час виконання другого з симетричних відносно осі конструкцій швів. При цьому зусилля внаслідок усадки другого шва повністю ліквідують прогин, який утворився при виконанні першого шва.

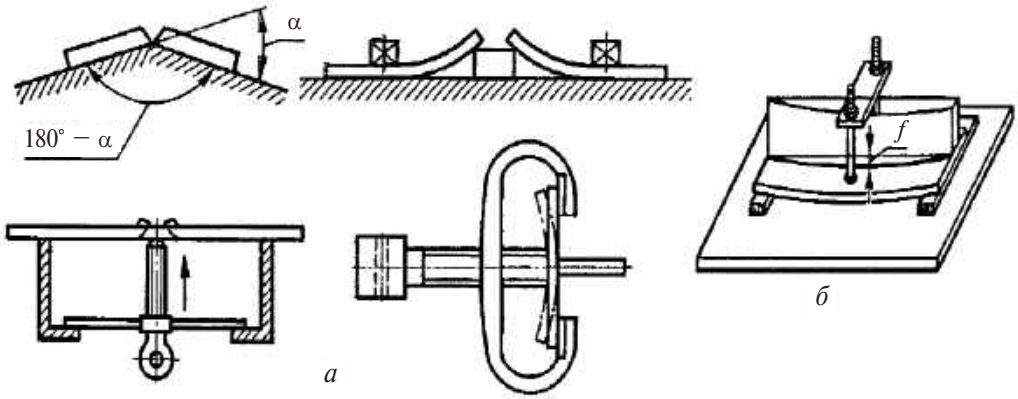
5. У конструкціях з тонкостінними елементами розміщення швів на більш жорстких елементах або поблизу їх.

6. У процесі проектування забезпечення можливості виправлення конструкцій після їх зварювання.

До технологічних прийомів належать:

1. Вибір раціональної послідовності складально-зварювальних операцій (жорстке збирання краще, ніж еластичне, при ручному зварюванні шви виконуються від середини до країв, зворотно-ступінчастим методом, зварювання «каскадом», розчленування конструкції на окремі вузли, які можуть бути легко виправлені, а потім зібрані з мінімальними деформаціями).

2. Попередній вигин деталей дає змогу успішно боротися проти кутових деформацій при зварюванні встик і внапустку за рахунок витка у сторону, протилежну очікуваній деформації (мал. 11.9). Попередній зворотний вигин можна створити за рахунок наклепу кромок і стінки балок або нагріванням до температури 700–750°С (мал. 11.10).

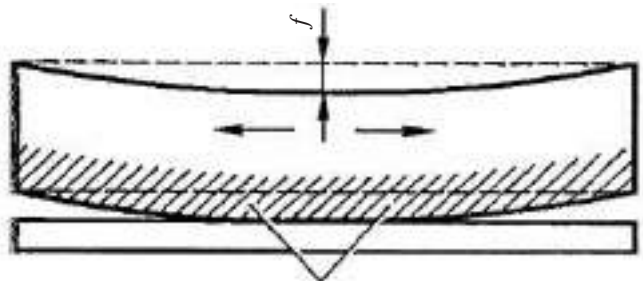


Мал. 11.9. **Утворення зворотного вигину для зменшення кутових деформацій при зварюванні стикових швів (*а*) і балок (*б*)**

3. Значне зменшення жолоблення і хвилястості листових деталей, зварюваних по одній кромці. Для жорсткості на протилежній вільній кромці тимчасово приварюють куточок або полосу, які вилучають після зварювання.

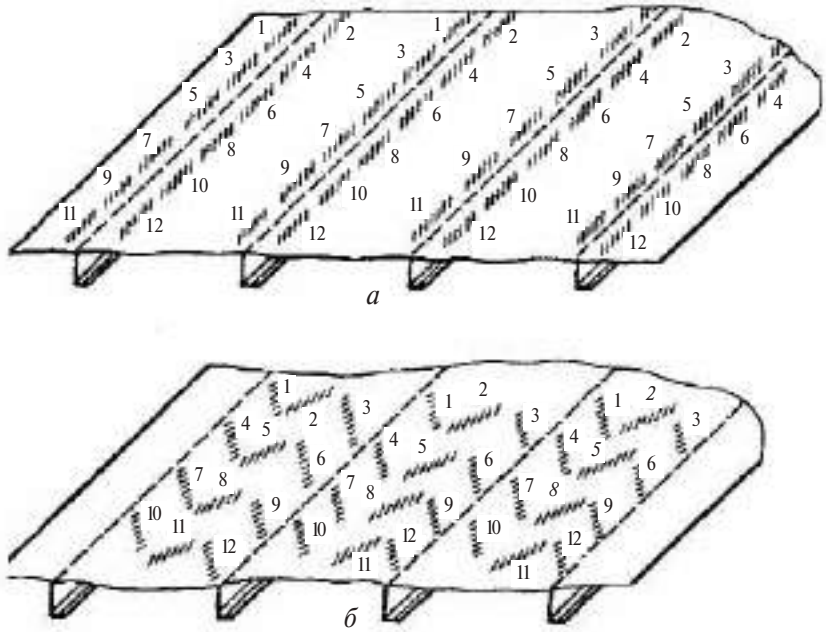
4. Використання кондукторів для складання та зварювання. В закріпленому стані деформації зводяться до мінімуму.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 11.10. **Місце нагрівання (або наклепу) кромки вертикальної стінки таврової балки**

5. Механічна правка у холодному стані (осадження металу під пресом, вібрація, прокатка, вручну кувалдою) або термічна правка (не виключає використання механізованої або ручної праці) для усунення деформацій після зварювання. Для місцевого нагрівання застосовують газополуменевий пальник, причому якість виконаної роботи повністю залежить від кваліфікації правильника. Завдяки простоті, універсальності і маневреності термічна правка широко застосовується як у цехових, так і в монтажних умовах (мал. 11.11).



Мал. 11.11. **Схеми розташування ділянок нагрівання при виправленні судової конструкції паралельними (а) і косими (б) лініями (цифрами показана послідовність правки)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Оскільки холодна і гаряча правка мають суттєвий недолік – збільшуються залишкові напруження в конструкції – рекомендується по завершенні цих робіт провести високий відпуск для їх зняття.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке деформація?
2. Як визначаються напруження?
3. Як залежать напруження від температури нагрівання?
4. У чому проявляються структурні напруження?
5. Як впливає техніка і послідовність виконання зварних швів на зварювальні напруження і деформації?
6. Як можна зменшити зварювальні деформації?
7. Як можна зменшити деформації при нагріванні?

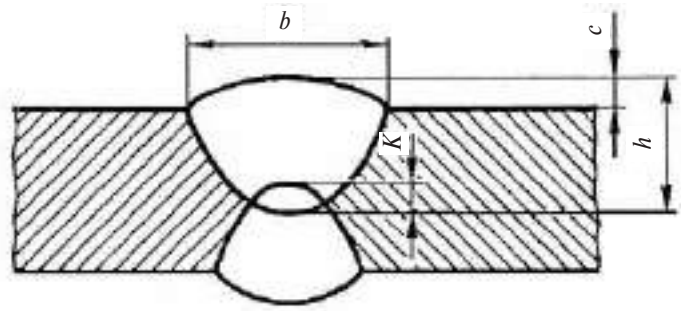
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 12

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРУ, ФОРМИ І СКЛАДУ ЗВАРНОГО ШВА ВІД ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ

Розробка технології зварювання конкретних матеріалів починається з вибору способу зварювання, який визначається характером виробництва (одиничне, серійне, масове), товщиною зварюваних деталей, довжиною шва і його просторовим положенням, властивостями зварного з'єднання, зварювальних матеріалів (залежать від хімічного складу зварюваного матеріалу, способу зварювання, вимог до властивостей зварного з'єднання, підігрівання, термообробки), конструктивних типів і елементів підготовки кромок, параметрів режиму зварювання і техніки зварювання. Останні характеристики найсуттєвіше впливають на розміри, форму, склад зварного шва і визначають властивості зварного з'єднання.

Оскільки розміри і форма провару не залежать від типу шва, умови його формування при дуговому зварюванні можна розглянути на прикладі стикового з'єднання (мал. 12.1).



Мал. 12.1. **Схема двобічного стикового зварного з'єднання**

Зварний шов має розмірні параметри (b – ширина, h – глибина провару, c – величина підсилення, K – величина перекриття) і безрозмірні ($\psi_{пр} = b/h$ – коефіцієнт форми провару і $\psi_{підс} = b/c$ – коефіцієнт форми підсилення). Серед розмірних параметрів лише величина перекриття K відносно постійна і дорівнює 2–4 мм, а інші залежать від параметрів режиму зварювання. Хоча безрозмірні параметри також залежать від параметрів режиму зварювання, все ж для них встановлені границі їх значень. Так, коефіцієнт форми провару має бути 2–5. При менших значеннях з'являється загроза утворення гарячих тріщин, при більших – нераціонально використовується теплова потужність і витрачається більша кількість проходів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Коефіцієнт форми підсилення має дорівнювати або бути більшим 5. При менших значеннях у точці переходу від основного металу до зварного шва збільшується коефіцієнт концентрації напружень, що значно знижує вібраційну міцність виробу, тому в деяких випадках висувається вимога вилучення підсилення, особливо для виробів, виготовлених із таких чутливих до концентрації напружень металів, як алюміній і титан.

Розглянемо, як впливають основні і додаткові параметри режиму дугового зварювання одним електродом на формування шва, вважаючи, що загальні закономірності впливу залишаються прийнятними і для випадків зварювання кількома електродами, стрічкою тощо. При цьому треба мати на увазі, що при вивченні впливу одного з параметрів інші залишаються незмінними, а глибина провару становить не більше 0,7–0,8 товщини основного металу.

Рід струму і його полярність. При зварюванні на постійному струмі зворотної полярності глибина провару на 40–50 % більша, ніж на прямій полярності, внаслідок виділення більшої теплової потужності на виробі. У той же час продуктивність процесу більша на 30–40 % при зварюванні на прямій полярності, очевидно, через те, що при цьому розплавляється більше електродного металу при меншій температурі його перегрівання.

Сила струму. З її збільшенням глибина провару збільшується, оскільки зростають тиск плазмового потоку, який відкидає рідкий метал із головної частини ванни у хвостову, і величина погонної енергії. На ширину шва два перших параметри суттєво не впливають.

Діаметр електрода. Зі зменшенням діаметра електрода знижується рухомість стовпа дуги, збільшується глибина провару і зменшується ширина шва.

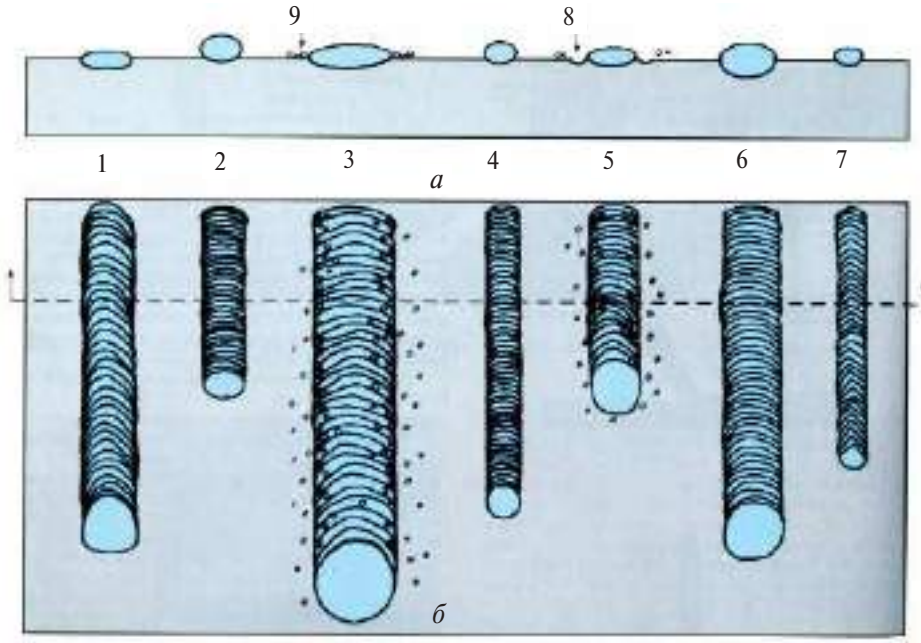
Напруга дуги. При її збільшенні зростає довжина дуги і її блукання, внаслідок чого теплова потужність розсіюється, ширина шва значно зростає, а глибина провару, хоча і меншою мірою, зменшується.

Швидкість зварювання. У разі малих значень $V_{зв} = 10\ldots 12$ м/год глибина провару зі збільшенням швидкості дещо зростає, але подальше збільшення приводить до зниження цього показника внаслідок зменшення погонної енергії. При швидкості зварювання до 25 м/год ширина шва пов'язана з глибиною провару зворотною залежністю, але при $V_{зв} > 25$ м/год зі зменшенням швидкості ширина шва також зменшується. Значне відхилення параметрів режиму від оптимальних значень призводить до несприятливого формування шва, збільшеного розбризкування і появи дефекту у вигляді підрізу (мал. 12.2). Додаткові параметри режиму також впливають на формування шва.

Поперечне коливання кінця електрода. Спричинює розсіювання теплової потужності, зменшення проплавлення і збільшення ширини шва.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Такі особливості має зварювання розщепленою дугою і електродною стрічкою, що використовується при наплавних роботах.



Мал. 12.2. **Вплив параметрів зварювання на якість формування шва при ручному дуговому зварюванні:**
а – поперечний переріз; *б* – вид зверху;
1 – оптимальні параметри; 2 – малий струм; 3 – великий струм, веде до розбризкування 9; 4 – мала напруга; 5 – велика напруга, сприяє підрізу 8 і розбризкуванню; 6 – мала швидкість зварювання; 7 – велика швидкість зварювання

Виліт електрода. При його збільшенні прискорюється плавлення електрода, зростає продуктивність, але знижується зварювальний струм, що призводить до зменшення проплавлення.

Хімічний склад і будова часточок флюсу. Зі зменшенням об'ємної маси флюсу (пемзоподібний вид) зростає об'єм газофлюсового пухиря, дуга стає рухомішою, з'являються блукання, теплова потужність дуги розсіюється, глибина провару зменшується, а ширина шва зростає, що позитивно впливає на якість наплавлення. Об'ємна маса склоподібного флюсу майже вдвічі більша, тому все здійснюється навпаки, якість зварювання поліпшується.

Положення електрода. У разі зварювання кутом назад рідкий метал зварювальної ванни інтенсивніше витісняється з-під основи дуги, що призводить до збільшення провару і зменшення ширини шва порівняно з вертикальним положенням. При зварюванні кутом вперед ідуть зворотні процеси.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Положення виробу. При зварюванні зверху вниз (на спуск) рідкий метал зварювальної ванни весь час підтікає під основу дуги, зменшуючи проплавлення і збільшуючи ширину шва, що використовують при наплавленні. І навпаки, при зварюванні знизу вверх (на підйом) дуга більше проникає в глиб металу, збільшуючи проплавлення і зменшуючи ширину шва. Тому для механізованого зварювання кут нахилу виробу має не перевищувати 3–4°, а при ручному – 8–10°, інакше можлива поява дефектів.

Це особливо важливо враховувати при механізованому зварюванні або наплавленні циліндричних виробів невеликого діаметра, коли електрод треба зміщувати із зеніту в бік, протилежний обертанню деталей.

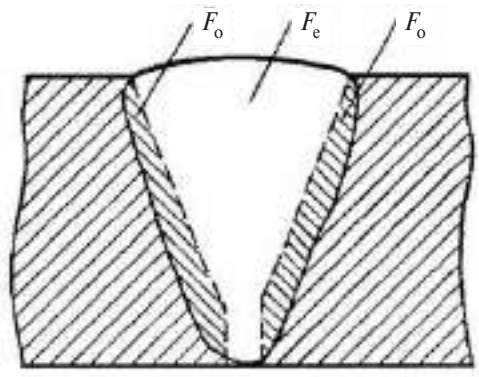
Початкова температура виробу. У межах -60°С...+80°С на формування шва не впливає. У разі підігрівання до 100–400°С дещо зростає глибина провару і ширина шва, що пов'язано зі збільшенням погонної енергії. Оскільки електричні параметри режиму зварювання, рекомендовані в довідниках, наведені для випадку зварювання у звичайних умовах, при застосуванні підігрівання їх треба коригувати.

Показники безрозмірних коефіцієнтів змінюються відповідно до впливу тих чи інших параметрів на ширину, глибину і підсилювання шва.

Параметри режиму зварювання суттєво впливають на склад шва. Лише у разі зварювання неплавким електродом без присадки зварний шов складається із розплавленого основного металу, в усіх інших випадках він за своїм складом не відповідає ні основному, ні присадному металу, а є їх сумішшю.

Повна площа поперечного перерізу зварного шва (мал. 12.3) $F = F_0 + F_e$, де F_0 – площа, яка відповідає розплавленому основному металу, F_e – електродному металу. Зварний шов складається з частин цих двох металів γ_0 і γ_e:

$$\gamma_o = \frac{F_o}{F_o + F_e},\ \gamma_e = 1 - \gamma_o.$$



Мал. 12.3. **Поперечний переріз зварного шва**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Повну площу шва можна визначити на макрошліфі за допомогою планіметра. Для механізованого зварювання площа:

$$F_{\text{е}} = F_{\text{др}} \frac{V_{\text{п.е}}}{V_{\text{зв}}},$$

де $F_{\text{др}}$ – площа перерізу зварювального дроту; $V_{\text{п.е}}$ – швидкість подачі зварювального дроту; $V_{\text{зв}}$ – швидкість зварювання.

Відповідно до вищенаведеного всі параметри режиму, які збільшують проплавлення, сприяють підвищенню вмісту основного металу в зварному шві й навпаки. Іноді, але не завжди, їх треба підвищувати (при зварюванні), а іноді – зменшувати (при наплавленні). Параметри режиму підбирають за довідниками зі зварювання, проте перед впровадженням корисно попередньо їх перевірити на зразках і в разі потреби підкоригувати.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні розмірні і безрозмірні параметри шва?
2. Яких значень безрозмірних параметрів треба дотримуватись і чому?
3. Які параметри режиму найбільше впливають на глибину проплавлення?
4. Які параметри режиму найбільше впливають на ширину шва?
5. Які параметри режиму зварювання вважають основними?
6. Які параметри режиму зварювання вважають додатковими?
7. За яких умов потрібно збільшувати вміст основного металу у складі шва?
8. За яких умов потрібно збільшувати вміст електродного металу у складі шва?
9. Чи коригують параметри режиму зварювання, наведені в довідниках, при впровадженні зварювання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 13

МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ, НАПИЛЕННЯ І МЕТАЛІЗАЦІЇ

Термін служби деталей, що швидко зношуються, визначає рентабельність багатьох машин і механізмів. Інтенсифікація виробничих процесів пов'язана зі збільшенням робочих тисків, швидкостей, температур, із застосуванням агресивних середовищ. Це призводить до прискорення зношення деталей, а в умовах загальної тенденції до автоматизації і роботизації проблема підвищення їх працездатності стає все гострішою. Промисловістю і сільським господарством витрачаються сотні тисяч тонн металу і велика кількість людської праці на виготовлення запасних частин і заміну швидкозношуваних деталей. Крім того, знижується продуктивність машин і апаратів, збільшуються простої агрегатів і цілих ліній у зв'язку із заміною зношених деталей.

Відомо, що обладнання багатьох підприємств значно зношене, а коштів на його заміну новим не завжди вистачає. Отже, підвищення зносостійкості і терміну служби деталей машин потребує постійної уваги. Працездатність визначається раціональним конструюванням, умовами експлуатації, матеріалом, з якого вироблена деталь. Перші два фактори лежать у сфері діяльності, в якій зварники не дуже компетентні, а що стосується матеріалів, то їм відомі способи поліпшення їх властивостей залежно від конкретних умов експлуатації. Значне підвищення працездатності забезпечують термічна і хіміко-термічна обробка поверхневих шарів, використання біметалевих конструкцій, зносостійке наплавлення металів і сплавів, нанесення тонких шарів методами металізації. Методи наплавлення дають змогу багатократно відновлювати геометричні розміри зношених деталей і використовувати наплавні матеріали, які підвищують термін служби. Не випадково, що винахідники М. Бенардос і М. Славянов застосовували зварювання при ремонті і відновленні пошкодженого обладнання.

13.1. ОСНОВНІ ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ПРИНЦИПИ ВИБОРУ ТИПУ НАПЛАВЛЕНОГО МАТЕРІАЛУ

У сучасній зварювальній техніці для наплавлення застосовуються сплави різного хімічного складу, структури, призначення тощо. Тип наплавленого металу вибирають залежно від його здатності протистояти певним видам зношування.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Поки що не існує стандартних методів визначення зносостійкості матеріалів. Користуються поширеними методиками лабораторних випробувань. Іноді її характеристикою може бути твердість поверхневого шару, виміряна кількома способами (Брінеля, Роквела, Вікерса тощо). Залежно від виду зношування і на підставі досліджень вибирається тип наплавленого металу. Треба зауважити, що у чистому вигляді окремі види зношування зустрічаються дуже рідко, найчастіше маємо справу з їх поєднанням.

Знос при терті металу – за нормальних умов зношуються внаслідок тертя ковзання (колінчасті вали, осі, пальці ковшових ланцюгів) і тертя кочення (кранові колеса, деталі ходової частини гусеничних машин), коли між контактуючими металами є абразивні часточки (окалина, пісок, руда тощо). Для наплавлення таких деталей найчастіше застосовують низьковуглецеві низько- і середньолеговані сталі Ст3, 15Г2Х, 20Х2Г2М, 30ХГСФ тощо.

Абразивний знос – призводить до руйнування поверхонь тертя внаслідок окремих дій місцевого пластичного деформування, мікродряпання і мікрорізання абразивними часточками, що характерне для роботи усіх ґрунтооброблюючих машин (ковші екскаваторів, ножі бульдозерів, лемехи плугів, прес-форми для виготовлення вогнетривів і будівельної цегли тощо). Дуже часто цей вид зношування поєднується з ударами, причому їх інтенсивність невизначена і характеризується лише такими якісними термінами, як «незначна», «помірна», «сильна». Це впливає на вибір відповідних наплавних сплавів. Сплави 1-ї групи, які найкрихкіші, рекомендуються для умов, коли ударні навантаження відсутні (У30Х23Р2С2ТГ, У45Х35Г3Р2С, У25Х20С3Р тощо), сплави 3-ї групи, найменш крихкі, рекомендуються для умов, коли є удари (Г13Н4, 25Х5ФМС, 20Г4 тощо), сплави 2-ї групи займають проміжне положення (У20Х12М, У25Х17Т, У12Х12В12Р тощо).

Інколи ударно-абразивне зношування поєднується з корозійним впливом низькими температурами (ковші днопоглиблювальних снарядів, шляхопроводи гідротранспорту, завитки і робочі колеса земснарядів, черпаки золотодобувних драг), що значно погіршує умови експлуатації і прискорює зношення.

Найбільшу зносостійкість у таких умовах мають високохромисті чавуни. Якщо ж абразивні часточки переміщуються з потоком газу при звичайних або підвищених температурах (деталі трас пневмотранспорту, лопатки млинових вентиляторів і насосів, деталі засипних пристроїв доменних печей, сопла реактивних двигунів), руйнування здійснюється за рахунок зрізання, викришування, вибивання і багаторазового пластичного деформування поверхневих мікрооб'ємів.

Інтенсивність такого газоабразивного зношування залежить від кута атаки запиленого потоку та властивостей абразиву. Абразивний знос найменший при застосуванні високохромистих чавунів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Термічна втома – зміна структури і форми, що супроводжується утворенням тріщин і руйнуванням матеріалів внаслідок циклічної дії нагрівання й охолодження. Кількість тріщин зростає зі збільшенням числа циклів, оскільки утворюється сітка розпалу, після чого починають відколюватися макрооб'єми металу. Цей вид зношування характерний для валків гарячої прокатки, штампів гарячого штампування, прес-форм для виливки під тиском. Для поліпшення якості інструмент наплавляють хромовольфрамовими сталями, карбідними композиціями і жароміцними сплавами.

Кавітаційна ерозія – є результатом імпульсного механічного впливу гідравлічних мікроударів потоку рідини на поверхню металу. Цей специфічний вид зношування типовий для роботи деталей гідромашин (гребні гвинти швидкохідних суден, лопаті і камери проточного тракту гідротурбін, ущільнювальні поверхні запорно-перепускної арматури). Наявність корозійного середовища прискорює процес кавітаційного руйнування, тому обов'язковою умовою для такого виду експлуатації є використання корозійностійких матеріалів: хромонікелевих сталей типу 18-8, хромомарганцевих 30Х10Г10, алюмінієвих бронз типу Бр АН12-3.

13.2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКИ НАПЛАВЛЕННЯ

Наплавлення використовують як для відновлення зношених розмірів, так і для створення зносостійкого шару з метою підвищення терміну служби деталей машин. Воно ефективне лише тоді, коли маса наплавленого металу не перевищує 5–6 % загальної маси деталі. Для процесу наплавлення задаються ті самі параметри режиму, що і для зварювання, але при їх призначенні слід ураховувати деякі суперечності.

Рід струму, полярність. Більша продуктивність забезпечується на постійному струмі прямої полярності, дешевший і доступніший процес на змінному струмі. Проте електроди з основним покриттям і основні флюси, які використовуються для наплавлення легованих сталей і сплавів, потребують лише постійного струму зворотної полярності, що зменшує продуктивність і збільшує частину основного металу в наплавленому шарі. Це змушує збільшувати кількість шарів.

Діаметр електрода. Його збільшення підвищує продуктивність, зменшує частину основного металу; іноді наплавлення виконують кількома електродами малого діаметра, зібраними в «пучок».

Зварювальний струм. З його збільшенням підвищується продуктивність, але й збільшується глибина проплавлення основного металу.

Напруга на дузі. Підвищення цього параметра зменшує частину основного металу, але з'являється загроза втрати легуючих елементів, особливо високоактивних у дуговому проміжку.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

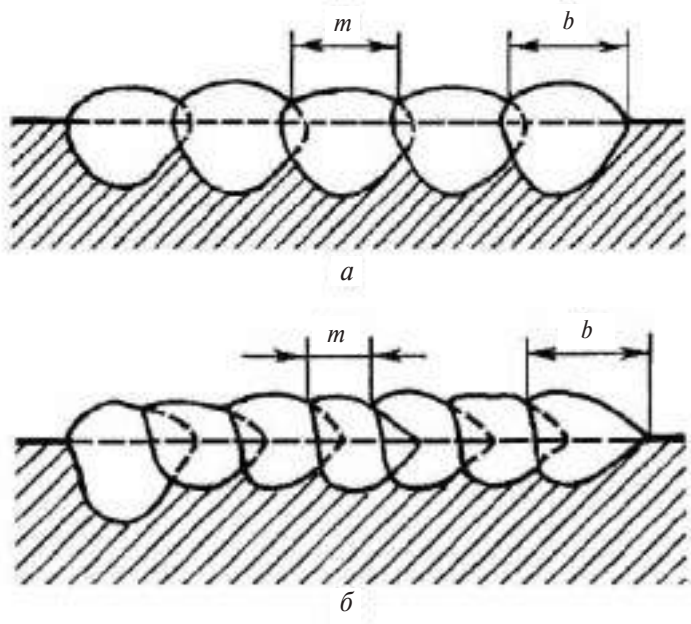
Швидкість зварювання. При її збільшенні погіршується формування шва і наплавленої поверхні.

Зсування електрода із зеніту. Це важливий параметр при наплавленні циліндричних поверхонь. Зсування здійснюється в бік, протилежний обертанню, забезпечує добре утримання зварювальної ванни і формування шва.

Крок наплавлення і величина перекриття валика. Визначають задану висоту наплавленого шару і ступінь однорідності хімічного складу наплавленого металу.

Необхідно, щоб параметри режиму і техніка наплавлення забезпечували найменше проплавлення основного металу, максимальне зберігання легуючих елементів, якісне формування наплавленої поверхні, мінімальні припуски для подальшої механічної обробки деталі.

Все це значною мірою залежить від відношення ширини наплавленого валика до кроку наплавки (мал. 13.1). На мал. 13.1, а воно становить 0,65, а при $m/b = 0{,}46$ (мал. 13.1, *б*) зменшується до 0,45. Значно зменшити величину γ_0 можна застосуванням розщепленої дуги, стрічки або коливанням електрода поперек валика (мал. 13.2).



Мал. 13.1. **Формування наплавленого шару залежно від співвідношення *m/b***

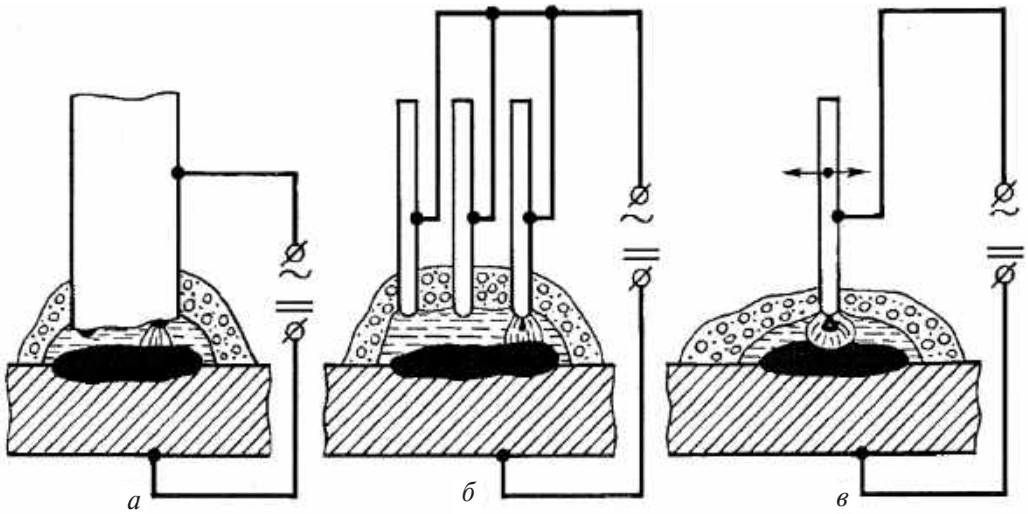
При наплавленні циліндричних поверхонь деталей невеликого діаметра по гвинтовій лінії треба враховувати можливість стікання ванни, що обмежує вибір режиму за струмом і напругою. При діаметрах більших, ніж 500–600 мм, ці обмеження несуттєві. Якщо наплавлення

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

здійснюють поблизу торця деталі, треба приварювати до нього диск-фланець більшого діаметра, а в місцях переходу від меншого діаметра до більшого наплавляти валик, який захоплює проваром стінку цього переходу. *При наплавленні поверхонь малої ширини* (торців, ножей ножиць блюмінгів) треба обмежувати стікання шлаку і металу додатковими пристроями (графітовими, мідними формуючими пластинами).

Наплавлення великих поверхонь доцільно виконувати за схемами, наведеними на мал. 13.2.

Деталі зі складним профілем поверхні наплавляють ручним способом із використанням покритих електродів або напівавтоматичним порошковим дротом.



Мал. 13.2. **Способи зменшення частини основного металу при наплавленні з використанням: електродної стрічки (*а*); розщепленої дуги (*б*); поперечними коливаннями електрода (*в*)**

Іноді потрібно наносити покриття невеликої товщини, що досягається дуговою металізацією і плазмовим напиленням. Останнє виконують при застосуванні порошків і дротів, причому ця технологія є найефективнішою з енергетичної точки зору (табл. 13.1).

Напилення і металізацію застосовують у тих випадках, коли треба відновити малу товщину зношеної деталі, нанести тонкий поверхневий шар зі спеціальними властивостями (корозійностійкий, зносостійкий, декоративний тощо).

Суть *газополуменевого напилення* полягає втому, що напилюваний «матеріал у вигляді дроту, прута або порошку подається разом із газокисневою сумішшю і стиснутим повітрям у пістолет, на виході із сопла якого матеріал під дією тепла при згорянні газокисневої суміші спочат-

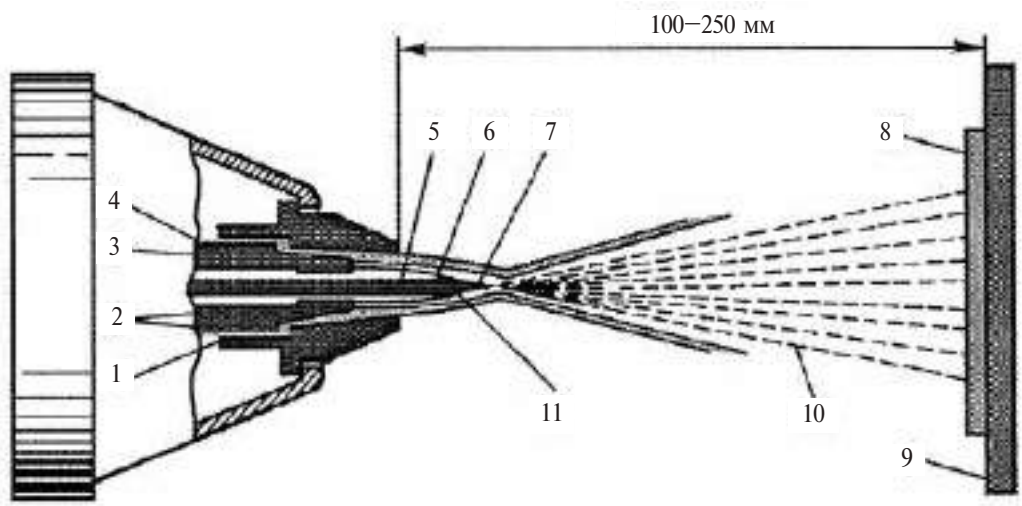
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ку розплавляється, а потім розпилюється. У такому вигляді покриття наноситься на спеціально підготовлену поверхню. Схема цього процесу показана на мал. 13.3.

Таблиця 13.1

Порівняльна характеристика деяких електротермічних способів нанесення покриттів

Показник	Електро-дугове наплавлення	Плазмова металізація		
		порошком	нейтральним дротом	струмо-ведучим дротом
ККД нагрівання матеріалу, %	20–40	2–4	3–5	8–10
Коефіцієнт використання матеріалу, %	70–80	20–60	50–75	50–75
Продуктивність, кг/год	3–4	4–6	6–8	8–10
Енерговитрати на нанесення 1 кг покриттів, кДж	70–80	120–140	100–120	40–50



Мал. 13.3. **Схема газополуменевого напилення електродним дротом**

У пальник-пістолет по центральному каналу подається напилюваний дріт 5, а разом з ним через сопло 2 по каналах 3 газокиснева горюча суміш, яка згоряє на виході повітряного сопла 7 з утворенням характерного ядра 6 і активної зони 11, де і здійснюється розплавлення дроту 7.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Через канали повітряного сопла 7 подається стиснуте повітря 4, яке на виході формує робочий струмінь розпиленого матеріалу 10, направляє і транспортує його на підготовлену поверхню 9, де і формується шар потрібної товщини 8.

При дуговій металізації дуга виникає між двома дротами, підключеними до джерела живлення. Дроти подаються через сопло пальника, внаслідок чого вони розплавляються, а розплавлений метал розпилюється стиснутим газом (аргоном або повітрям), який, у свою чергу, подається через центральний канал, утворюючи направляючий і транспортуючий струмінь на напилювану поверхню.

На такому ж принципі побудована і *плазмова схема металізації*. Різновидом металізації газополуменевого напилення є детонаційне, коли газоповітряну або газокисневу суміш підривають разом із порошком у спеціальній пушці або пістолеті, внаслідок чого розплавлений метал вистрелюють у напрямку поверхні зі швидкістю 760 м/с. Завдяки такій імпульсній дії нанесений шар покриття має велику міцність і щільність.

Серед розглянутих способів нанесення тонких шарів покриттів найдешевша *дугова металізація*, але вона не дає змоги наносити покриття будь-якого заданого складу. Це забезпечує лише використання порошкоподібних матеріалів з газополуменевим або плазмовим напилюванням.

Технологія плазмового напилення складається з кількох послідовних операцій: підготовка порошків (сушка, просіювання й охолодження – все це за 2–3 год до напилення), підготовка поверхні (знежирення, травлення, піскоструминна і дробоструминна обробки, механічна обробка, підігрівання), нанесення покриттів.

За один прохід плазмотрона наносять шар завтовшки 15–100 мкм.

При нанесенні самофлюсованих порошків для підвищення міцності зчеплення і зниження пористості проводять оплавлення покриттів (газовим полум'ям, плазмотроном, у печі НВЧ і в сольових розчинах). Загальним правилом при плазмовому наплавленні і нанесенні є попереднє підігрівання деталей до температури 450–600°С залежно від їх розмірів і форми, після чого вони завантажуються в піч з температурою 550–650°С, де витримуються протягом 2–3 год і уповільнено охолоджуються разом з піччю.

13.3. МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ, НАПИЛЕННЯ І МЕТАЛІЗАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛУ

При відновлювальному і зносостійкому наплавленні можуть бути використані всі способи зварювання і зварювальні матеріали. Головним є питання досягнення заданого складу наплавленого металу при високій продуктивності процесу.

У свою чергу раціональний вибір способу легування наплавленого шару, матеріалів і технологія наплавлення залежить від умов експлуа-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тації деталей, їх розмірів і конфігурації, допустимої величини і характеру зношування, наявності потрібних матеріалів тощо.

Найпоширенішим, особливо в монтажних, польових умовах або при невеликих обсягах наплавних робіт, є ручне дугове наплавлення з використанням електродів як загального призначення, так і спеціальних. Продуктивність процесу – 0,3–2,0 кг/год.

Ручне дугове наплавлення графітовим електродом, порошками та їх сумішами виконується на постійному струмі прямої полярності з такими параметрами режиму: $d_е$ = 10…15 мм, $I_{зв}$ = 180…210 А, $U_д$ = 27…30 В, товщина шару порошку – 7–9 мм. Товщина наплавленого шару становить 2–3 мм. Продуктивність процесу 1–1,5 кг/год.

Цей метод легування забезпечує потрібну якість наплавленого металу в найменшому діапазоні параметрів режиму. Рекомендується для наплавлення деталей, умови роботи яких точно не визначені.

При наплавленні високолегованих сплавів вольфрамовим електродом в аргоні використовують прутки, виготовлені методом лиття. Продуктивність процесу – 0,3–0,8 кг/год.

Гранульовані порошки та їх суміші можна використовувати як для дугового, так і індукційного наплавлення. Останнє часто застосовується при ремонті і виготовленні деталей землерийних машин і сільськогосподарської техніки. Продуктивність наплавлення НВЧ становить 9–10 кг/год.

Для стаціонарних цехових умов при великих обсягах наплавних робіт слід використовувати механізовані способи наплавлення.

Якщо потрібно лише відновити зношені геометричні розміри деталі, застосовують звичайний зварювальний дріт заданого складу, яким наплавляється метал невеликої твердості, або спеціальний наплавний дріт, за допомогою якого можна отримати наплавлений метал із середньою або високою твердістю.

Застосування спеціального дроту з плавленим флюсом необхідного складу – найкращий спосіб легування, який забезпечує високий ступінь однорідності наплавленого металу в широкому діапазоні параметрів режиму наплавлення, але не завжди можна одержати метал заданого складу. Це досягається комбінацією порошкового дроту з плавленим флюсом або використанням самозахисного порошкового дроту. Показник якості металу (перехід легуючих елементів, однорідність їх розподілу) трохи гірший порівняно з попереднім способом.

Самі ж плавлені флюси для наплавлення вибирають, виходячи з тих же міркувань, що і для зварювання, але перевагу надають пемзоподібним флюсам, які забезпечують менший провар основного металу і більший вміст електродного металу в наплавленому шарі.

Є і спеціальні наплавні флюси, наприклад, флюс марки АН-70, для наплавлення середньо- і високолегованих сталей з низькою окислювальною спроможністю. У зв'язку з тим, шо флюс АН-70 швише твердіє, ніж

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

флюс АН-20, його використовують при наплавленні циліндричних деталей малого діаметра. Шлак легко відокремлюється при температурах до 800°С.

Для зменшення вмісту основного металу в наплавленому шарі й одержання рівнішої наплавленої поверхні використовують зварювальні електродні стрічки, порошкові і спечені.

Легування наплавленого металу за допомогою керамічних флюсів менш ефективне, ніж порошковим дротом. Потрібна якість наплавленого металу досягається ще в меншому діапазоні параметрів режиму, а вміст металевих компонентів у ньому не перевищує 25–30 %. Проте цей метод у деяких випадках може бути доступнішим і економічно ефективнішим для використання.

Продуктивність процесу наплавлення плавким електродом у захисних газах і самозахисним дротом – 1,5–6 кг/год, автоматичного під флюсом дротом – 3–8 кг/год, дротом із порошком – 13–25 кг/год, стрічкою – 5–20 кг/год.

Треба мати на увазі, що використання самозахисного порошкового дроту дає можливість виконувати наплавлення в польових умовах часто без демонтажу зношеної деталі з механізму, що значно прискорює і здешевлює проведення ремонтних робіт.

Найпродуктивнішим способом, який дає змогу за один раз нанести шар завтовшки 30–40 мм, є електрошлакове наплавлення, але воно потребує дуже складних пристроїв, обладнання і високої кваліфікації операторів. Продуктивність становить 15–150 кг/год, а в окремих спеціальних процесах може досягати 120–150 кг/год.

Для напилення і металізації найчастіше застосовуються порошки, але вони не завжди забезпечують стабільну якість покриття внаслідок сегрегації компонентів при змішуванні і транспортуванні суміші з дозуючих пристроїв у струмінь. Широко застосовуються гнучкі шнурові матеріали (ГШМ), які одержують екструзією спеціального матеріалу, що складається з порошкового наповнювача й органічної зв'язки. Вона зникає при нагріванні вище 400°С і не відкладається на підкладку.

Міцність і еластичність гнучких шнурів дає змогу користуватися ними, як і дротом, і наносити покриття за допомогою газополуменевих апаратів дротового типу. Технологія виготовлення ГШМ забезпечує поєднання будь-яких матеріалів, що відрізняються гранулометричним складом. Розроблено кілька серій ГШМ:

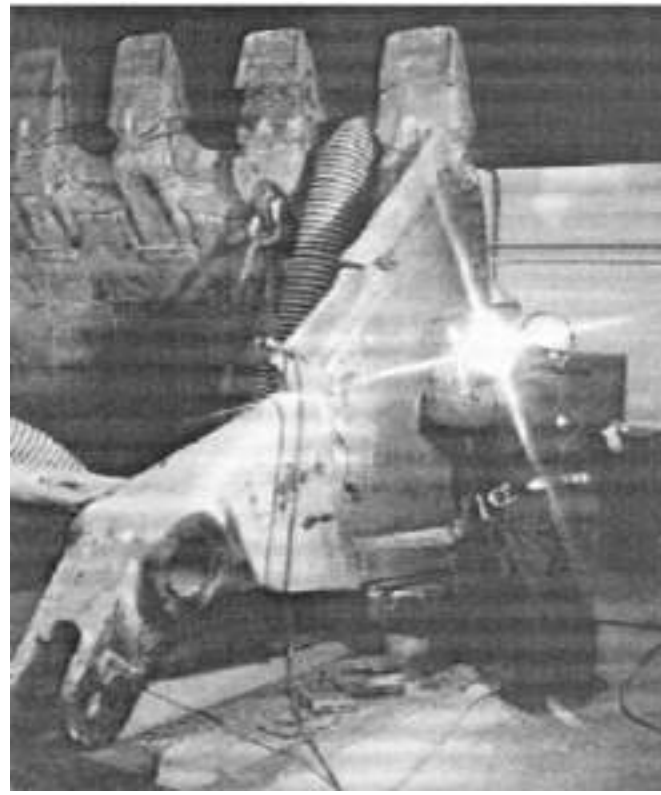
«Сфекорд-Екзо» на основі сплавів металів з екзотермічним ефектом, завдяки чому нагрівання основного металу не перевищує 250°С;

«Сфекорд-Кераміка» на основі оксидів алюмінію, титану, хрому, цирконію тощо;

«Сфекорд-НК» на основі сплавів, що самофлюсуються з карбідом вольфраму.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Технологія ремонту таких досить складних за конструкцією виробів, як ківш екскаватора (мал. 13.4) передбачає проведення цілого комплексу робіт. Після демонтажу ковша і його очищення від бруду проводять ретельну дефектацію з метою складання плану виконання ремонтних робіт. Перш за все визначається матеріал, з якого виготовлено виріб, з метою підбору відповідних зварювальних матеріалів, технології, техніки і послідовності виконання окремих операцій з урахуванням умов експлуатації всіх ділянок ковша. Цей виріб працює в умовах ударно-абразивного зношування, причому на зуби більшою мірою впливає ударне навантаження, ніж абразивний знос. У той же час «щоки» і стінки ковша мають забезпечити як загальну міцність і жорсткість конструкції, так і опір, головним чином, абразивному зношуванню. Наконечники зубів литі, і їх замінюють на нові шляхом механічного кріплення й обварювання по периметру. Виготовляють наконечники зі сталі 110Г13Л, яка є найкращою для таких умов експлуатації. Значні пошкодження, такі як розрив торцевої планки, правлять першими з підігріванням, розчищенням кромок і багатопрохідним заварюванням вручну або напівавтоматом.



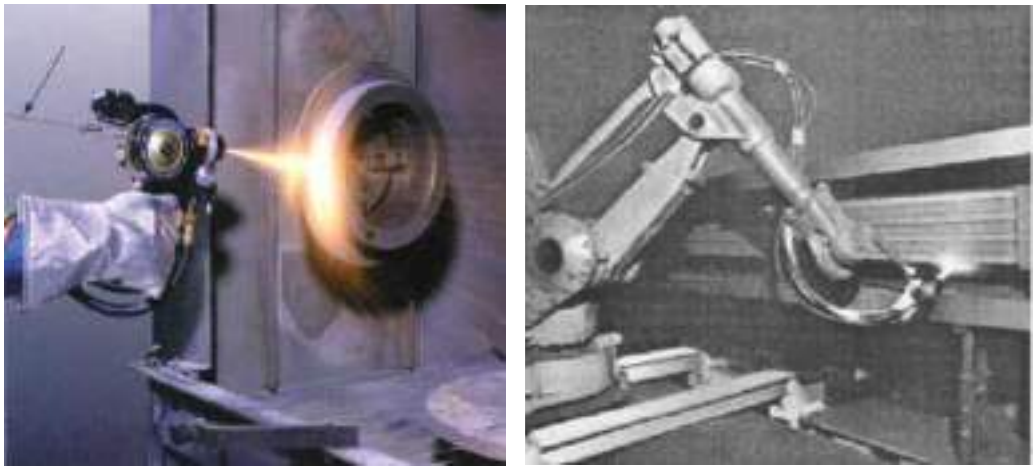
Мал. 13.4. **Ремонт ковша екскаватора зварюванням і наплавленням**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

13.4. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ, НАПИЛЕННЯ І МЕТАЛІЗАЦІЇ

Для механізованого наплавлення в захисних газах, під флюсом і відкритою дугою можна використовувати стандартне обладнання для зварювання цими способами, але в разі великих обсягів ремонтно-відновлювальних робіт, особливо в цехових умовах, краще застосовувати спеціалізовані апарати з відповідними джерелами живлення, механічним обладнанням (обертачами, кантувачами, токарними верстатами тощо), а також комплексне обладнання з усіма необхідними складовими.

Обладнання для напилення, дугової і плазмової металізації поділяється на ручне і механізоване. Безперечним лідером у випуску обладнання для нанесення покриттів є швейцарська фірма «Sulzer Metco». Металізаційний пістолет (мал. 13.5, *а*) має турбінний привід подавання металевого дроту або ГШМ, який працює від стиснутого повітря. Воно ж виконує і функції транспортуючого газу. На пістолеті є пристрій для нерухомого закріплення його, наприклад, на супорті токарного верстата, що дає змогу механізувати процес нанесення покриття на тіла обертання. У разі потреби виконання великих об'ємів дугової металізації використовують роботизовані комплекси (мал. 13.5, *б*), а сам процес здійснюється у спеціальних закритих камерах для зменшення запилювання простору і шуму.



а *б*

Мал. 13.5. **Напилення металевим дротом вручну (*а*) і повністю роботизованим комплексом (*б*) виробництва фірми «Sulzer Metco» (Швейцарія)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні види зношування металу? Наведіть конкретні приклади.
2. Яким чином визначаються критерії зносостійкості?
3. Які типи наплавленого металу підвищують зносостійкість деталей машин?
4. Які параметри режиму наплавлення?
5. Що таке крок валика і величина його перекриття?
6. Яким чином зменшують вміст основного металу в наплавленому?
7. У чому полягає суть газополуменевого напилення? Де воно використовується?
8. У чому полягає суть дугового і плазмового напилення? Які його переваги і недоліки?
9. Які матеріали застосовують для наплавлення деталей, що працюють в умовах кавітаційної ерозії?
10. Яка послідовність способів легування з точки зору рівномірності розподілу легуючих елементів у наплавленому металі?
11. Як впливає ступінь визначеності умов експлуатації деталі на вибір типу і точності легування?
12. Що таке ГШМ, яка його будова?
13. Які переваги використання ГШМ порівняно с порошками при напиленні?
14. Яка послідовність ремонту виробу з багатьма пошкодженнями?
15. Чим відрізняється техніка наплавлення від техніки зварювання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 14

СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ТА ОСНАСТКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

У процесі виготовлення зварних конструкцій треба забезпечити задане технологічним процесом взаємне розміщення з'єднуваних деталей і найсприятливіші умови для утворення якісного виробу. Це досягається використанням спеціальних технологічних пристроїв і оснащення, за допомогою яких починається процес складання для зварювання. Він полягає в підгонці і попередньому з'єднанні елементів конструкцій у складніші для подальшого кінцевого скріплення їх зварюванням, причому трудомісткість складальних робіт становить від 40 до 60 % загальної трудомісткості робіт складально-зварювального цеху.

У процесі складання вузлів і секцій виконуються:

1) взаємна установка зварюваних елементів у положення, задане кресленням і необхідне для виконання;

2) перевірка і надання всій конструкції або окремим її частинам заданої форми в межах встановлених допусків;

3) скріплення складених спряжень елементів за допомогою прихваток або затискуючих пристроїв;

4) установка за потреби тимчасових розпірок, стяжок або інших пристроїв, які забезпечують жорсткість виробу при транспортуванні або запобігають виникненню значних зварювальних деформацій.

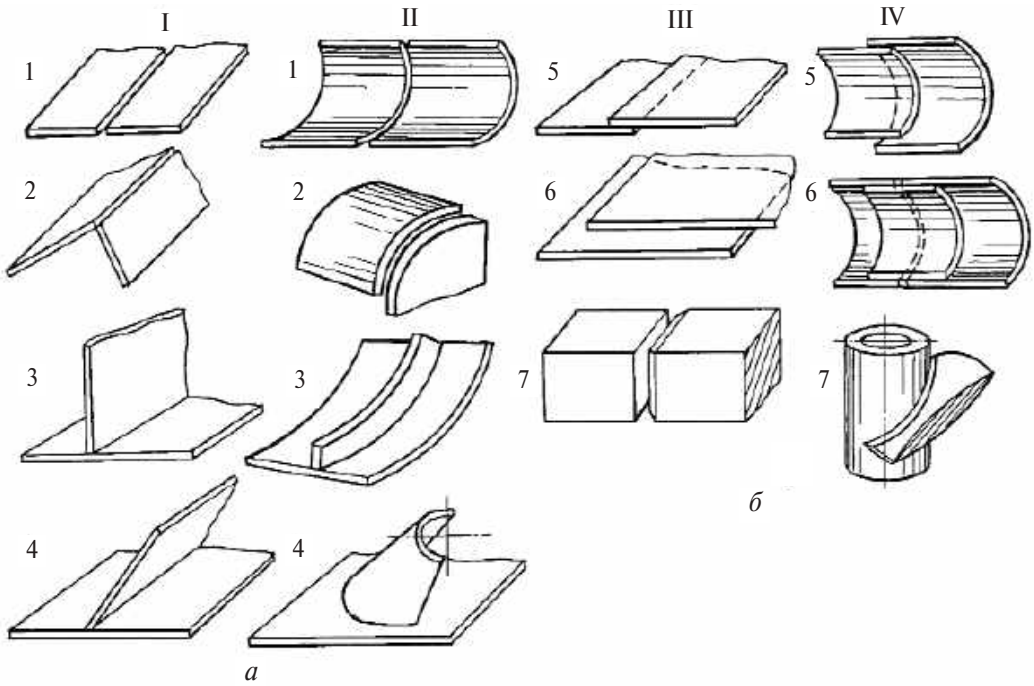
Мета складання корпусних конструкцій – виконання проміжних спряжень (до зварювання), закріплення взаємних сполучень кромок або поверхонь частин, що складаються, для забезпечення подальшого процесу зварювання.

Розрізняють два класи спряжень – лінійні і поверхневі (мал. 14.1). При складанні складних конструкцій підганяється не одиничне спряження, а одночасно декілька спряжень, які розмішені поруч або пересікають одне одного. У такому разі зварювання конструкцій або окремих швів на них можна виконувати після закінчення всього складання, паралельно з ним або почергово зі складальними операціями. Відповідно виділяють складання, що чергується зі зварюванням.

Установка й орієнтування деталей, підгонка деталей та її перевірка вимагають вибору технологічних складальних баз, тобто поверхонь, ліній або точок, за якими визначаються положення елементів конструкцій, що складаються. Ними можуть бути загальні (нерухомі), які існують на складальних дільницях і не змінюються у процесі складання вузла, і місцеві, що слугують для виконання окремих операцій, після чого

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

їх необхідність втрачається (торець раніше встановленого листа, розміточні риски тощо).



Мал. 14.1. **Види простих спряжень, які складаються для зварювання:**
а – лінійні; *б* – поверхневі;
I – прямолінійні; II – криволінійні; III – плоскі; IV – просторові;
1 – стикове; 2 – кутове; 3 – таврове; 4 – таврове з нахилом; 5 – внапустку; 6 – прилягаюче; 7 – з'єднання дотиком

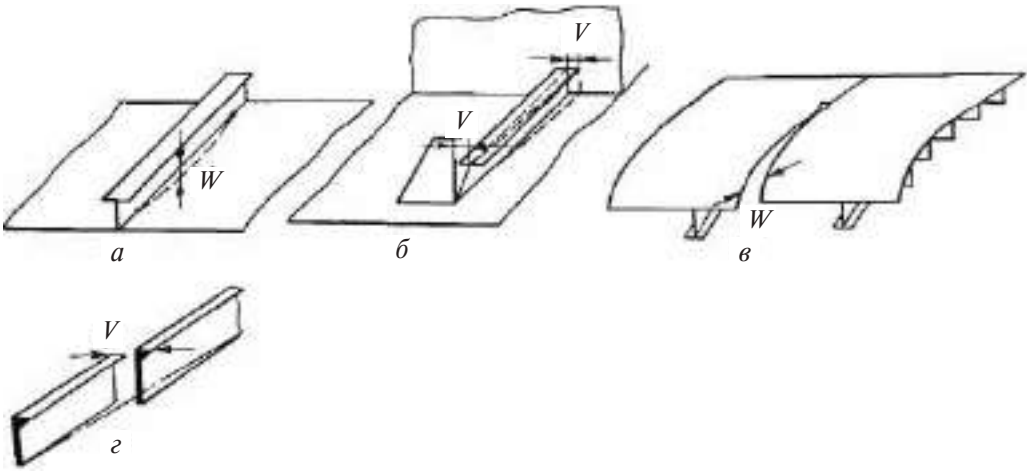
Правильно вибрані технологічні бази спрощують складання і значно підвищують його якість.

Операції складання мають свої особливості. Незначне переміщення деталей здійснюється вручну важелем або ударами кувалди. Для стягування спряжень, що пов'язане з частковим пружним деформуванням кромок деталей, можуть знадобитися значні зусилля. Це пояснюється тим, що за будь-якої точності обробки лист або профіль, що складаються, пружно змінюють свою форму під дією ваги, залишкових напружень, після прокатки або правки, від зварювальних деформацій, які виникають при прихватці або зварюванні суміжних ділянок конструкцій. Типові випадки стягування спряжень при складанні вузлів листів і профілів наведено на мал. 14.2.

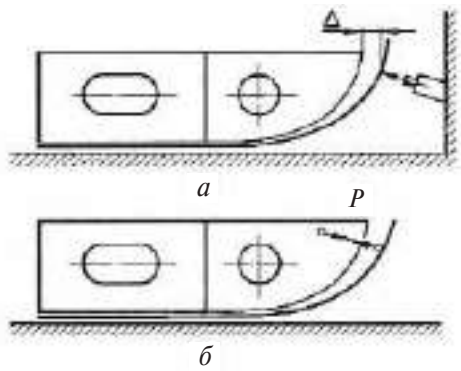
Величина зусиль залежить від типу спряження, зазору між елементами, що спрягаються, форми і геометричних характеристик самих еле-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ментів, від характеру закріплення ділянок, суміжних з місцем спряження. Дослідження і розрахунки дають такі величини зусиль, які потрібні, наприклад, для стягування незакріплених листів у таврових спряженнях: при товщині листів 8, 12 і 15 мм відповідно 2000, 3000 і 4000 кг. При вирівнюванні листів у стикових спряженнях зусилля у два рази менші. Складальні зусилля можна прикладати за схемами, наведеними на мал. 14.3.



Мал. 14.2. **Приклади стягування простих спряжень при складанні:**
а – підтягування листа до ребра жорсткості; *б* – зміщення кінців таврової балки; *в* – стягування кромок двох листів; г – суміщення кінців ребер жорсткості

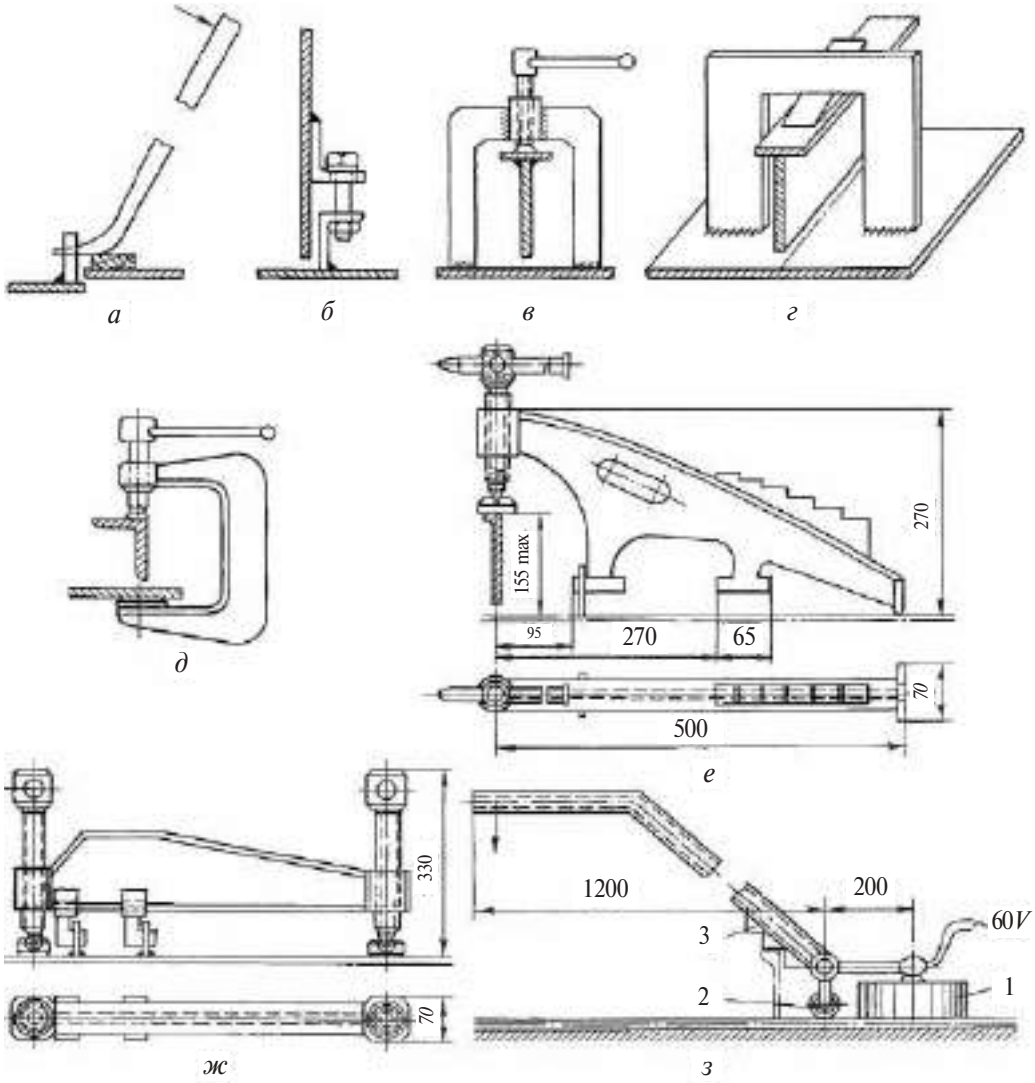


Мал. 14.3. **Схеми підтягування при складанні:**
а – відкрита; *б* – замкнена

При відкритій схемі реакція складального зусилля сприймається стінкою, опорною плитою, а при замкненій – суміжними ділянками складеної конструкції і на опірні пристрої не передається. У такому разі потрібно прикладати значно менші зусилля, ніж при відкритій схемі. Для прикла-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дання складальних зусиль застосовуються інструменти (ломики, струбцини тощо) або силові елементи спеціальних пристроїв (мал. 14.4).



Мал. 14.4. **Інструменти для прикладання зусиль:**
а – ломик; *б* – приварювані кутники з болтом і гайкою; *в* – приварна скоба з гвинтом; *г* – приварна скоба з клином; *д* – складальна струбцина; *е* – скоба «риб'ячий хвіст»; *ж* – подвійний притискач з рухомим гаком; *з* – рухомий складальний лом з електромагнітом;
1 – електромагніт; 2 – ролик; 3 – гребінка для упору профілів

Стягуючі і притискуючі пристрої для складання кріплять до деталей, які складаються, через окремі приварні планки або обухи, а також

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

за допомогою присосів – вакуумних або електромагнітних. Останнє значно збільшує продуктивність складання. Утримуюча сила, віднесена до одного кілограма ваги переносних пристроїв з вакуумними присосами, складає від 34 до 56 кГ, а з електромагнітними – від 50 до 90 кГ.

Прихватка планок або обухів збільшує трудомісткість складання і може спричинити пошкодження поверхні конструкції, але і використання присосів обмежується через опірну площу електромагніту, вагу цих пристроїв і потребу мати гідравлічний або гідропневматичний привод.

Стягуючі і розпірні пристрої слугують для складання, вирівнювання кромок і вм'ятин, для розтискання циліндричних виробів (мал. 14.5). Складені для зварювання спряження закріплюють прихватками довжиною від 20 до 60 мм. Різноманітність прийомів складання, великі номенклатури виробів, діапазон розмірів конструкцій, товщин і сортаментів металу тощо затруднюють створення механізованих пристроїв з метою зменшення обсягів ручної праці. Спеціалізовані складальні, а іноді складально-зварювальні машини, створені лише для виготовлення порівняно простих і багаточисельних вузлів і секцій: балок таврового перерізу, плоских листових конструкцій, плоских секцій з ребрами жорсткості одного напрямку, циліндричних обичайок.

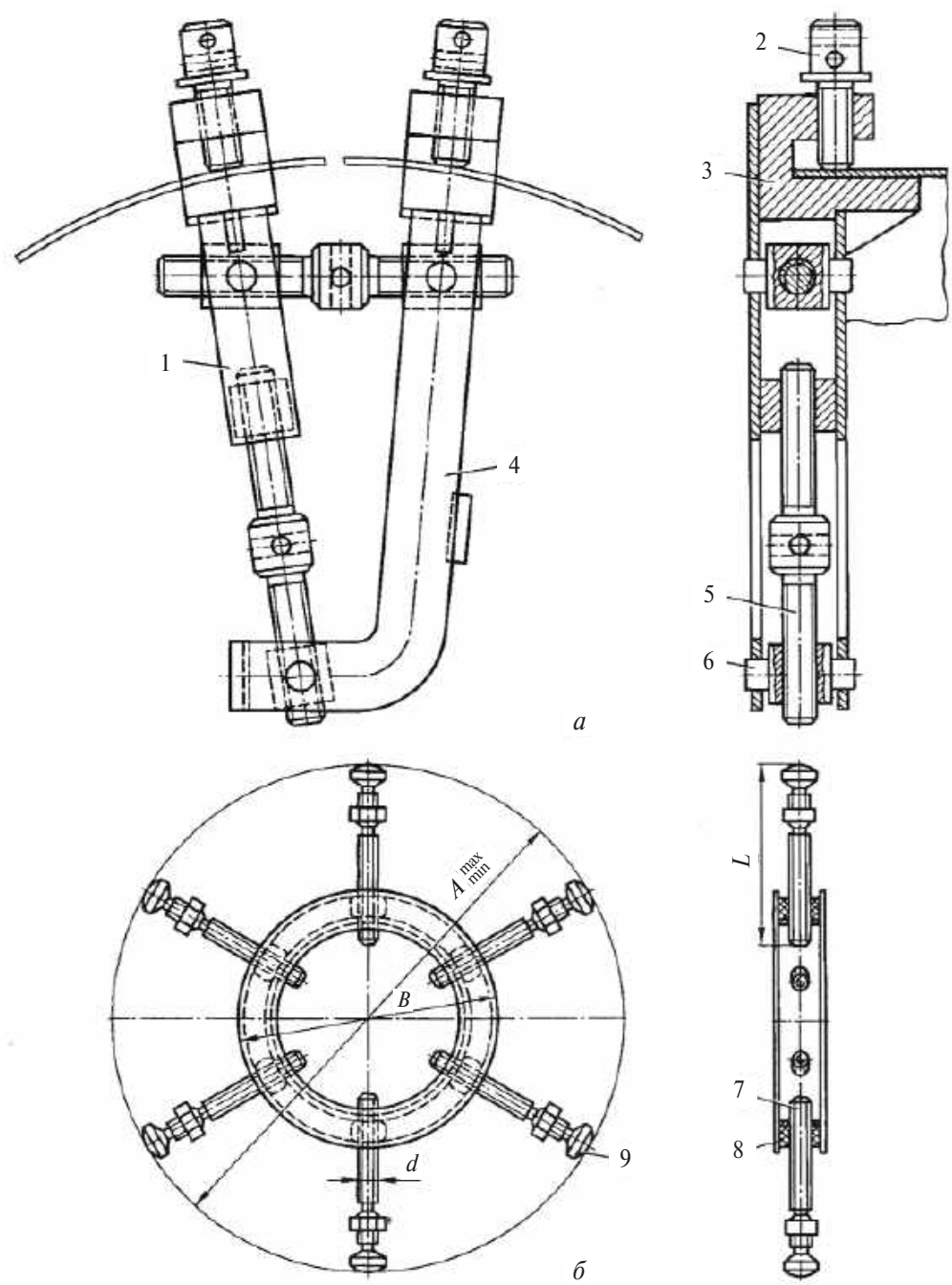
Технологічні пристрої застосовують спеціалізовані (для складання і зварювання певного типу виробів) і універсальні (УЗП). Останні складаються з набору нормалізованих, взаємно замінюваних деталей і нерозбірних вузлів. Із них компонують різні спеціальні пристрої, а після складання і зварювання розбирають і в подальшому знов використовують для компоновки нових пристроїв. Деталі і вузли комплекту УЗП складаються з базових, корпусних, фіксуючих, притискаючих, установлювальних, кріпильних та іншого призначення елементів. Як приклад можна розглянути компоновку УЗП для складання рами (мал. 14.6).

Рама фундаменту складається з двох поздовжніх і чотирьох поперечних швелерів (мал. 14.6, *а*), причому всі елементи металоконструкції встановлені в одній площині з дотриманням паралельності і перпендикулярності елементів один відносно одного. Базовими деталями вибрано поздовжні і поперечні швелери, які нижніми площинами лежать на підкладках (мал. 14.6, *б*). Боковими поверхнями швелери прилягають до базових кутників 2 і 4, закріплених на складальному стенді 1. Поперечні швелери на заданій відстані один від одного зафіксовані кутниками 4 і закріплені прихватами 6, що знаходяться на підкладці 5. Для підтискання поздовжніх швелерів на підкладках 10 встановлено підтискачі 7, 8 і 9. Зверху швелери закріплені вертикальними підтискачами 3.

У цій компоновці здійснюється складання і зварювання рами, завдяки чому правка фундаменту не потрібна.

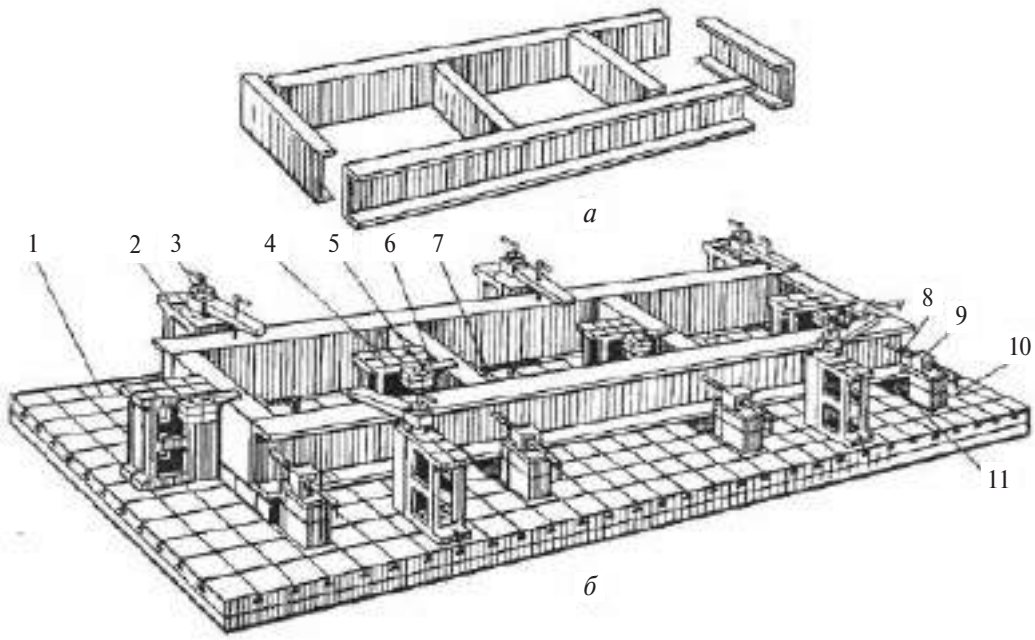
Перевагою використання УЗП порівняно зі спеціалізованим оснащенням є більша універсальність, тому їх використання у дрібносерійному виробництві підвищує коефіцієнт оснащеності до рівня серійного.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 14.5. **Стягуючі (а) й розпірні (б) пристрої:**
1 – важіль; 2 – затискаючий гвинт; 3 – скоба; 4 – основний важіль; 5 – стягуючий гвинт; 6 – гайка; 7 – розпірний гвинт; 8 – основа; 9 – підп'ятник

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 14.6. **Компоновка УЗП для складання рами**

Зварювальні пристрої мають давати змогу вільно переміщувати окремі елементи конструкції при нагріванні і подальшому охолодженні зони зварювання, а за необхідності зменшення і, по можливості, усунення деформації внаслідок зміни температури. При зварюванні крупногабаритних конструкцій з малою жорсткістю (рамних, ґраткових, листових) треба забезпечувати фіксацію окремих зварювальних кромок, а не виробу в цілому.

Для комплексної механізації у складі зварювальної установки мають бути обладнання для укладання, нахилу й обертання зварюваних виробів (стенди, кантувачі, маніпулятори), для кріплення і переміщення зварювальних апаратів (рейкові напрямні, колони, візки), а для обслуговування зони зварювання – ліфти, балкони, люльки тощо.

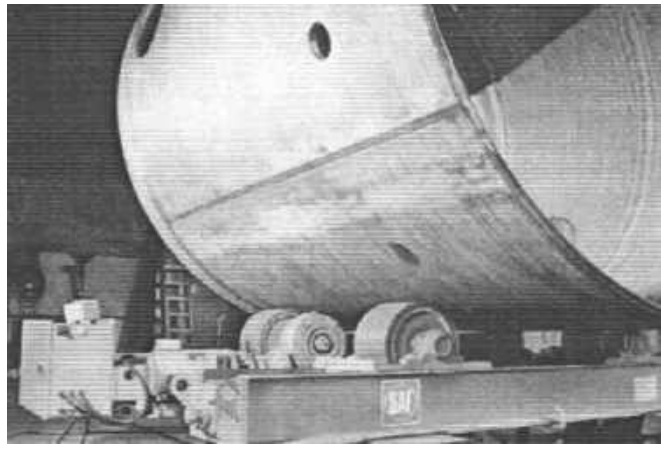
Стенди – найпростіші пристрої для укладання і фіксації деталей у положенні, зручному для зварювання.

Кантувачі – стаціонарні пристрої для обертання зварюваного виробу на деякий кут. Роликові стенди слугують для обертання циліндричних виробів при виконанні швів і для установчих переміщень (мал. 14.7). Вони мають два ряди роликів з гумовими бандажами, з них один ведучий, другий – холостий.

Маніпулятори – це універсальні пристрої для обертання виробу в процесі роботи навколо вертикальної та горизонтальної осей, а також

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

для нахилу його під різними кутами до горизонтальної площини з метою розташування зварного шва у найбільш зручному нижньому положенні. Зварювані вироби кріплять до планшайби за допомогою універсальних або спеціальних пристроїв.



Мал. 14.7. **Роликовий стенд дая обертання циліндричних виробів при виконанні кільцевих швів і для установочних переміщень**

Зображений на мал. 14.8 маніпулятор фірми «AIR-LIQUIDE Group» має мікропроцесор. У його пам'ять закладено 8 програм, які передбачають 48 різних положень або операцій зі зварюваним виробом.

Мал. 14.8. **Маніпулятор фірми «AIR-LIQUIDE Group»**

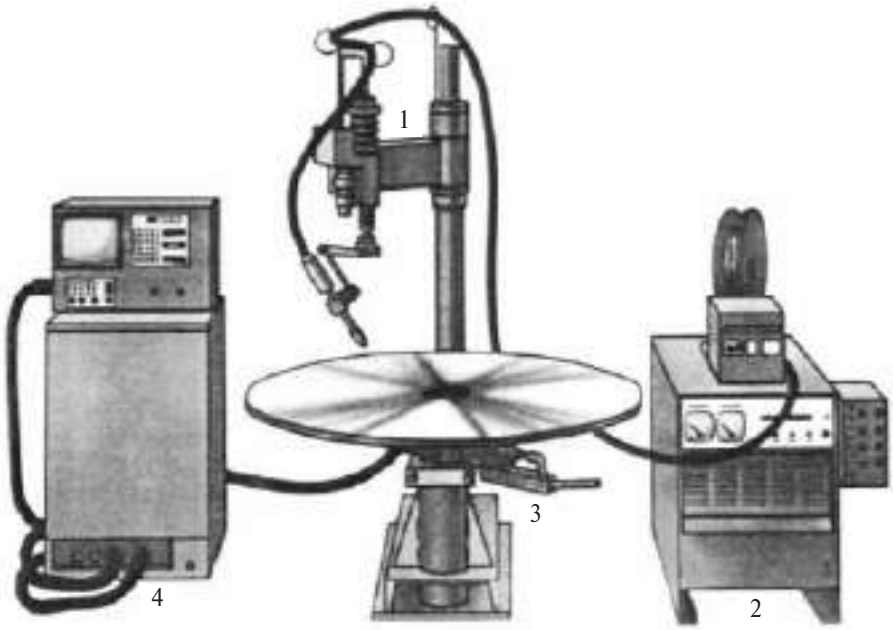
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Суттєве зменшення ручної праці при виконанні складально-зварювальних операцій можливе при використанні робототехніки. *Зварювальний робот* – це багатоланковий маніпулятор зварювального інструмента з системою програмного керування переміщень ланок.

Промислові роботи (ПР), що використовуються у зварювальному виробництві, є універсальними, придатними для виконання складальних, зварювальних, транспортувальних операцій при виготовленні різноманітних конструкцій. Їх технологічні можливості визначають такі параметри, як кінематична схема, вантажопідйомність і число ступенів вільності; форма і розміри робочої зони, точність позиціонування, характер приводу і тип системи керування.

Промислові роботи з шістьма ступенями вільності дають змогу автоматизувати будь-які операції, виконані рукою людини, а швидкість переналагоджування технологічного процесу забезпечує ту гнучкість, яку сьогодні мають виробництва, обслуговувані робітниками.

Зварювальний робототехнічний комплекс (РТК) включає автоматичний маніпулятор інструмента 1, систему керування всім комплексом 4, позиціонер (маніпулятор виробу) 3 і зварювальне обладнання 2, сполучене із системою керування РТК (мал. 14.9).



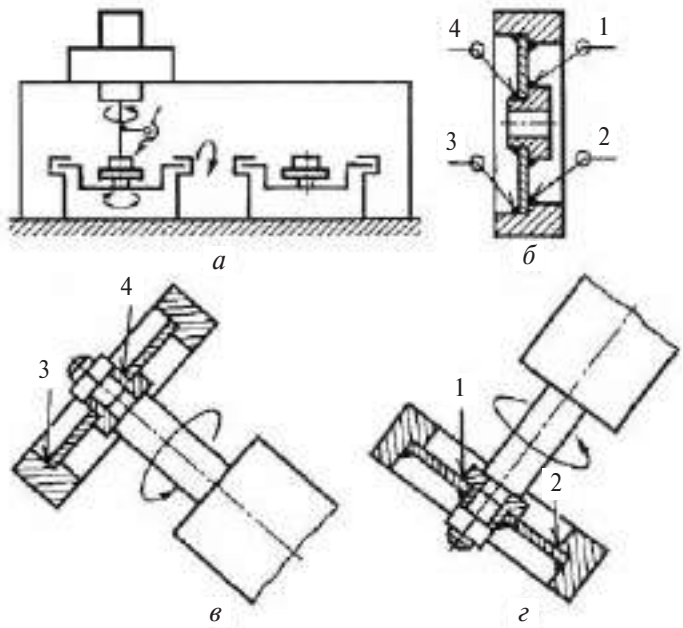
Мал. 14.9. **Компоновка зварювального РТК**

Програма виконання операцій дугового зварювання звичайно вводиться в пам'ять ПР оператором у режимі навчання. Для цього на першому екземплярі вузла намічають опорні точки лінії шва, де змінюється

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

характер її траєкторії. Оператор послідовно підводить пальник до цих точок і вводить їх координати в систему керування з указівкою про характер траєкторії між ними: пряма, дуга. Одночасно в пам'ять вводиться технологічна інформація щодо параметрів режиму зварювання, порядку переходу від одного шва до другого тощо.

Другий спосіб навчання ПР потребує менше часу, дає змогу вводити програму індивідуально на кожному екземплярі виробу. Оператор закріплює на пальнику наконечник, підводить його до місця початку шва і вручну веде пальник вздовж з'єднання так, щоб наконечник торкався лінії сполучення зварюваних деталей. Сигнали від датчика, що фіксує переміщення пальника, вводяться в систему керування у вигляді координат точок. Ця система навчання використовується при зварюванні довгих швів крупногабаритних листових конструкцій або в разі частої зміни виробів. Така система добре працює при виконанні кутових, таврових або стикових з вираженим розчищенням кромок швів, щоб наконечник рухався точно по стику. Як приклад можна розглянути зварювання великої шестерні на РТК з двома маніпуляторами виробу (мал. 14.10).



Мал. 14.10. **Робототехнічний комплекс для зварювання великих шестерень:** *а* – схема РТК з двома маніпуляторами виробу; *б* – конструкція шестерні; *в, г* – позиціонування при зварюванні

Конструкція шестерні технологічна, вона має осьову симетрію розміщення швів, а заготовки виконуються механічною обробкою, що забез-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

печує складання з мінімальними зазорами, а це гарантує мінімальні похибки позиціонування. Для зварювання використовується ПР портального типу з двома маніпуляторами, що мають дві взаємно перпендикулярні осі обертання. Оператор складає шестерні на окремому робочому місці. За цей час на другому маніпуляторі здійснюється зварювання кутових швів «човником» при обертанні виробу.

Потокові механізовані й автоматизовані лінії забезпечують повну комплексну механізацію процесу виготовлення зварних конструкцій і суміжних зі зварюванням операцій: заготівельних, правильних, формовки, очищення, фарбування тощо. У них вбудовано міжопераційний транспорт і дільниці контролю якості. Такий спосіб виробництва дає високий економічний ефект лише при серійному або масовому випуску продукції.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні операції виконують при складанні конструкції перед зварюванням?
2. Що таке складальна база?
3. Що таке спряження?
4. Які схеми підтягування використовують при складанні? Які їх переваги і недоліки?
5. Для чого застосовують стягуючі пристрої?
6. Для чого застосовують стискаючі пристрої?
7. Які переваги і недоліки універсальних складально-зварювальних пристроїв?
8. Які переваги і недоліки спеціалізованих складально-зварювальних пристроїв?
9. Для чого використовують обертачі й маніпулятори?
10. У чому полягає суть роботизації, яка її головна мета?
11. Які складові компоновки робототехнічного комплексу?
12. Як навчають робота працювати?
13. За яких умов доцільно застосовувати роботи і потокові лінії?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

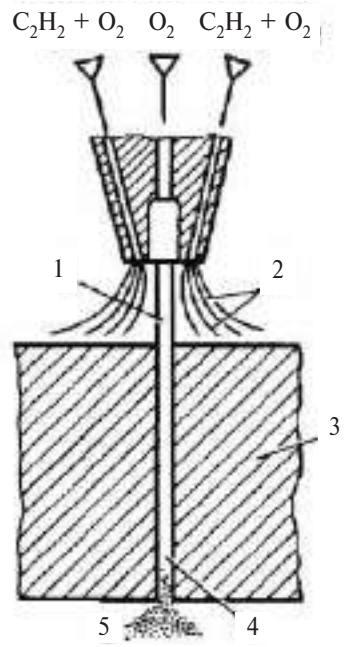
Розділ 15

ГАЗОВЕ І ГАЗОВО-ФЛЮСОВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ (81)

Термічним різанням називають процес відділення частин (заготовок) від сортового або листового металу внаслідок його окислення, плавлення або обох цих процесів.

15.1. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА РІЗАННЯ

У процесі різання окисленням (мал. 15.1) місця різання нагріваються підігрівальним ацетиленокисневим полум'ям 2 до температури горіння металу 3. Підігрітий метал згоряє в кисні і продукти згоряння видаляються з-під різу струменем кисню 1.



Мал. 15.1. **Схема газокисневого різання**

Згоряння заліза здійснюється за реакціями:

$$Fe + 0{,}5O_2 = FeO + 268{,}8 \text{ кДж/моль},$$
$$2Fe + 1{,}5O_2 = Fe_2O_3 + 829{,}7 \text{ кДж/моль},$$
$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4 + 1115{,}6 \text{ кДж/моль}.$$

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Теплота від згоряння заліза розігріває нижні шари і поширюється на всю товщину металу. Чим менша товщина розрізуваного металу, тим більшу роль відіграє підігрівальне полум'я (при товщині 5 мм – до 80 % загальної кількості теплоти, виділеної при різанні; а при товщині 50 мм – лише 10 %).

Утворені оксиди 5 і частково розплавлений метал видаляються із зони розрізу 4, а постійне підведення теплоти і різального кисню забезпечує неперервність процесу.

Умови розрізуваності металів та сплавів такі:

1. *Достатня потужність джерел* теплоти для надійного підігрівання шарів, що лежать нижче зварюваного шва і перед ним, тобто для підтримання неперервного процесу різання.

2. *Температура горіння металу* нижча за температуру його плавлення, а також за температуру плавлення оксидів, що утворюються.

3. *Оксиди та шлаки* мають бути рідкотекучими і легко видуватися струменем різального кисню.

4. *Теплопровідність металу* не повинна бути високою, оскільки інтенсивне відведення теплоти від місця різання призводить до перериву різання.

Усім вищенаведеним умовам відповідають лише титанові сплави, низьковуглецеві і низьколеговані сталі. На розрізуваність останніх кисневим полум'ям впливають легуючі елементи. Так, при вмісті до 0,6 % Mn розрізуваність сталей задовільна, але зростає твердість поверхні розрізу порівняно з твердістю основного металу.

При малих концентраціях вуглецю добре розрізаються сталі, що містять до 4 % Si. При вмісті більше 0,2 % C добре розрізаються сталі, якщо Si менше 2,5 %.

Добре розрізаються сталі з вмістом до 0,7 % C, до 1,5 % Cr у разі попереднього підігрівання. Така ж умова розрізання сталей, що мають до 0,4 % C і до 5 % Cr. Якщо хрому більше 6 %, сталі не розрізаються.

При вмісті до 0,5 % C добре розрізаються сталі, до складу яких входить до 35 % Ni без значних домішок інших елементів.

При концентрації до 0,7 % C і до 10 % W сталь розрізається добре, а зі збільшенням вмісту W до 15 % розрізання можливе лише з попереднім підігріванням.

Вміст до 2 % Mo не впливає на розрізуваність. Якщо Mo більше 3,5 %, різанню піддаються лише сталі, які мають не більше 0,3 % C.

Концентрація міді до 0,7 % на процес різання не впливає.

Не впливає на процес різання і вміст до 0,5 % Al. Зі зростанням кількості Al процес погіршується, а якщо Al більше 10 %, сталь не розрізувана.

При загальній кількості S і P до 0,1 % ці елементи на процес різання не впливають.

Для визначення здатності до розрізування легованих сталей можна користуватися вуглецевим еквівалентом, який обчислюється за формулою:

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

$$C_e = C + 0{,}15Mn + 0{,}3\,(Si + Mo) + 0{,}4Cr + 0{,}2W + 0{,}04\,(Ni + Cu).$$

Розрізуваність конструкційних сталей наведено в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Розрізуваність конструкційних вуглецевих* і низьколегованих сталей

Вуглецевий еквівалент, %	Приклади марок сталей	Умови різання
До 0,6	08, 10, 20, 25, Ст1–Ст4, 15Г, 20Г, 10Г2, 15М, 15НМ	Обмежень немає
0,6–0,8	35-45, 30Г-40Г, 30Г2, 15Х, 20Х, 15ХФ, 10ХФ, 15ХГ, 20М, 12ХН3А, 20ХН3А	Влітку без підігрівання, взимку при різанні великих товщин, при виготовленні деталей складної конфігурації підігрівання до температури 150°С
0,8–1,1	50–70, 50Г–70Г, 35Г2–50Г2, 30Х–50Х, 12ХМ–35ХМ, 20ХГ–40ХГ, 40ХН-50ХН, 12Х2Н4А–20ХН24А, 40ХФА, 5ХНМ, ШХ10, 35ХМФА	Попереднє або супутнє підігрівання до температури 200–300°С
Понад 1,1	25ХГС-50ХГС, 33ХС–40ХС, 20ХЗ, 35ХЮА, 37ХН3А, 35Х2МА, 25ХНВА, 38ХМЮА, 40ХГМ, 45ХНМФА, 50ХГА, 50ХФА, 50ХГФА, 5ХНМ, 12Х2Н3МА, ШХ15, ШХ15СГ	Попереднє підігрівання до температури 300–400°С (і вище) і уповільнене охолодження в печі або під тепловою ізоляцією
* Вуглецева сталь, яка вміщує більше 1,2 % С, не ріжеться.		

Основні параметри кисневого відокремлюючого різання:

1. *Характер полум'я.* Нейтральне, при різанні металу завтовшки більше 400 мм – навуглецьоване.

2. *Потужність.* Залежить від товщини, складу і стану металу. При ручному різанні збільшують у 1,5–2 рази порівняно з механізованим, при різанні литва збільшують у 3–4 рази. Визначається номером змінного мундштука (табл. 15.2).

3. *Тиск різального кисню.* Залежить від товщини металу, що розрізається, форми різального сопла і чистоти кисню. Треба керуватися вказівками експлуатаційної інструкції.

4. *Швидкість різання.* Має відповідати швидкості окислювання металу, що залежить від товщини листа, який розрізається. При нормальній швидкості потік іскор і шлаку зі зворотної сторони розрізаного листа порівняно спокійний і спрямований майже паралельно кисневому струменю. Залежить від товщини металу, вимог до якості поверхні розрізу і від ступеня чистоти кисню.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 15.2

Вибір змінного мундштука для ручного кисневого різання

Номер змінного мундштука	Товщина розрізуваної сталі, мм	Тиск на вході в різак, МПа		Витрата, $м^3$/год, не більше			
		кисню	ацетилену	різального кисню	кисню підігрівального полум'я для		ацетилену
					ацетилену	пропан-бутану і природного газу	
0	3–8	0,25	0,001–0,1	1,3	0,6	1,25	0,4
1	8–15	0,35	0,001–0,1	2,6	0,6	1,5	0,5
2	15–30	0,40	0,001–0,1	4,0	0,7	1,8	0,65
3	30–50	0,42	0,001–0,1	6,8	0,8	1,8	0,75
4	50–100	0,50	0,001–0,1	11,5	0,9	2,3	0,9
5	100–200	0,75	0,01–0,1	20,5	1,25	2,5	1,25
6	200–300	1,0	0,01–0,1	30,0	–	3,2	–

Примітки: 1. Мундштуки розраховані для використання певного горючого газу відповідно до виконання різака.

2. Тиск на виході в різак, який працює на пропан-бутані і природному газі, – 0,02–0,15 МПа.

3. Витрата пропан-бутану визначається множенням кисню підігрівального полум'я на коефіцієнт 0,55–0,6.

4. Чистота кисню не менше 99,5 %.

Залежність коефіцієнта швидкості різання від класу якості поверхні розрізу:

Клас якості	Коефіцієнт швидкості різання
1	1
2	1,2
3	1,4
Без оцінки	2

Залежності швидкості і ширини розрізу від параметрів процесу різання наведено у табл. 15.3.

Розрізняють два основних види кисневого різання: відокремлююче (утворюються крізні розрізи – вирізка деталей з листа, різка металу на окремі частини, розчищення кромок для зварювання) і поверхневе (на поверхні металу виконуються поглиблення, канавки овальної форми – вилучення дефектів литва, зварних швів, зістругування поверхні). Параметри розрізу при відокремлюючому різанні наведено на мал. 15.2, а ре-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

альний стан кромок показано на мал. 15.3. Як видно з рисунка, точність вирізуваних деталей великою мірою залежить від багатьох умов процесу. Якість поверхні розрізу визначається двома факторами: неперпендикулярністю розрізу і шорсткістю його поверхні.

Таблиця 15.3

Залежність швидкості різання і ширини розрізу від товщини металу

Параметр процесу різання	Товщина металу, мм						
	3–5	8–10	10–25	25–50	50–100	100–200	200–300
Швидкість різання, м/год	33–30	27–24	24–18	20–15	15–12	12–8	12–8
Ширина розрізу, мм	–	3–4	3–4	4–5	5–6	6–10	8–15

Примітка. Дані для фігурного різання із застосуванням кисню 1-го класу чистотою 99,5 %. Для інших класів використання кисню іншої чистоти значення швидкості треба помножити на коефіцієнти.

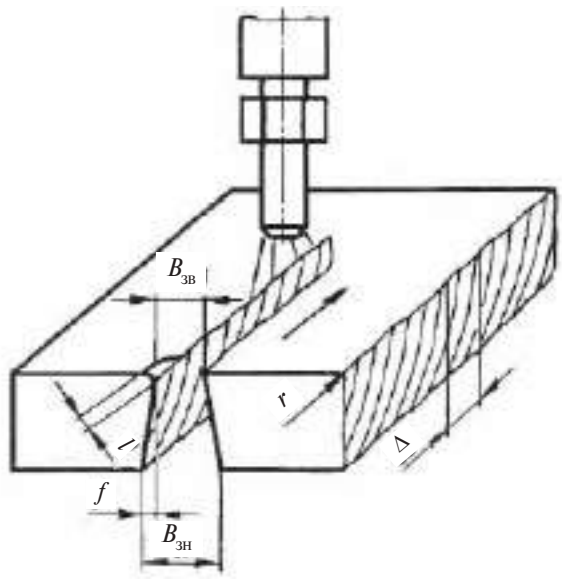
Залежність коефіцієнта швидкості різання від чистоти кисню:

Чистота кисню, %	Коефіцієнт швидкості різання
99,8	1,19
99,5	1
99,2	0,92
99	0,9
98,5	0,84
98	0,74

Класи точності вирізаних деталей і заготовок, допустимі норми шорсткості поверхонь розрізу та відхилення їх від перпендикулярності наведено в таблицях 15.4 і 15.5.

Неперпендикулярність поверхні розрізу спричинюється зміною кута нахилу різака до поверхні листа, а також розширенням різального струменя кисню при виводі його з розрізу. Шорсткість поверхні розрізу металу визначається кількістю і глибиною борозенок, залишених струменем кисню внаслідок запізнення Δ від осі мундштука ріжучого струменя кисню (мал. 15.2). Чим більша товщина металу і менша чистота кисню, тим більше запізнення. Воно змінюється від 1 до 15 мм при прямолінійному різанні металу товщиною від 5 до 200 мм. Швидкість різання листового металу товщиною 3–20 мм може бути підвищена в 2–3 рази за рахунок нахилу різака на 45° у бік, зворотний напрямку переміщення, але якість розрізу при цьому погіршується.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



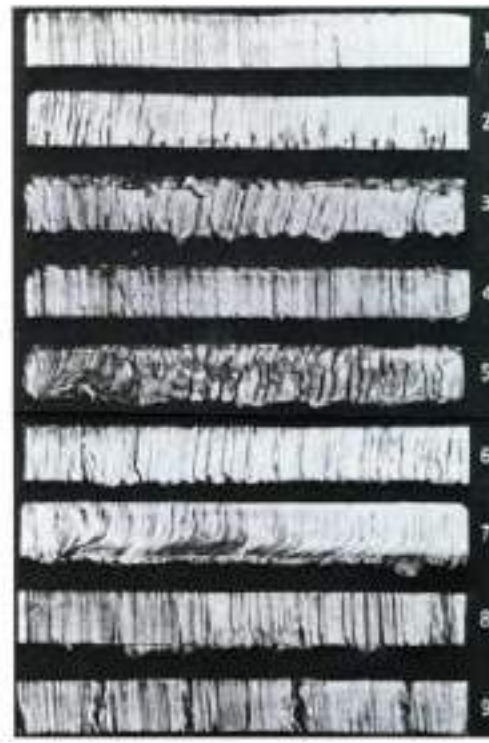
Мал. 15.2. **Основні параметри розрізу:**
$B_{зв}$ і $B_{зн}$ – ширина розрізу відповідно зверху і знизу; f – неперпендикулярність розрізу; I – глибина борозенок (шорсткість); Δ – запізнення; r – радіус оплавлення верхньої кромки

Таблиця 15.4

Граничні відхилення розмірів вирізаних деталей і заготовок, мм

Клас точності	Різання	Товщина листа, мм	Граничне відхилення при номінальних розмірах деталі або заготовки, мм			
			до 500	500–1500	1500–2500	2500–5000
1	Кисневе	5–30	±1	±1,5	±2	±2,5
	Плазмово-дугове	30–60	±1	±1,5	±2	±2,5
	Кисневе	60–100	±1,5	±2	±2,5	–
2	Кисневе	5–30	±2	±2,5	±3	±3,5
	Плазмово-дугове	30–60	±2,5	±3	±3,5	±4
	Кисневе	60–100	±3	±3,5	±4	±4,5
3	Кисневе	5–30	±3,5	±3,5	±4	±4,5
	Плазмово-дугове	30–60	±4	±4	±4,5	±5
	Кисневе	60–100	±4,5	±4,5	±5	±5,5
Примітка. Граничне відхилення вирізаних деталей і заготовок від прямолінійності встановлюється в половинному розмірі від табличних даних.						

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 15.3. **Типовий вигляд кромок металу завтовшки 25 мм після кисневого різання залежно від умов процесу:**
1 – оптимальний розріз, лінії запізнення розрізу вертикальні і не різко виявлені; 2 – полум'я для підігрівання недостатньої потужності, а швидкість різання надто мала, що призвело до поганого формування нижньої частини розрізу; 3 – полум'я для підігрівання надто довге, тому зверху поверхня розплавлена, а кромка ріжеться нерівномірно внаслідок надлишкового налипання шлаку; 4 – тиск різального кисню надто низький, що спричинює надмірне розплавлення верхньої кромки через низьку швидкість різання; 5 – тиск ріжучого кисню надто високий, а розмір сопла надто малий, внаслідок чого втрачається контроль за різанням; 6 – швидкість різання надто мала, тому величина запізнення розрізу дуже підкреслена; 7 – швидкість різання надто велика, отже, лінії запізнення розрізу підкреслено зруйновані; 8 – переміщення пальника виконується з непостійною швидкістю, внаслідок чого кромка розрізу хвиляста і нерівна; 9 – розріз переривається і неакуратно поновлюється, утворюючи дефекти в точках поновлення процесу.

Різання киснем високого тиску (до 5 МПА) забезпечує збільшення швидкості різання металу товщиною до 50 мм на 30–50 %. Різання металу великих товщин (300–800 мм) здійснюють спеціальними різаками зі збільшеними прохідними перерізами при низькому тиску кисня. При низьких швидкостях течії кисню кожна його часточка має можливість довше контактувати з металом у зоні розрізу, що знижує втрати кисню. При таких швидкостях немає завихрювань, чим забезпечується стабіль-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

на неперервність процесу. Але розріз при цьому ширший. Крім того, треба збільшувати відстань від мундштука до поверхні розрізу порівняно з різанням киснем високого тиску, щоб не перегрівався мундштук і не засмічувалися канали для горючої суміші бризками шлаку.

Таблиця 15.5

Допустимі значення шорсткості поверхні розрізу та найбільші відхилення поверхонь розрізу від перпендикулярності

Клас точності	Різання	Норми при товщині розрізаного металу, мм			
		5–12	12–30	30–60	60–100
Шорсткість поверхні					
1	Кисневе	0,05	0,06	0,07	0,085
	Плазмово-дугове	0,05	0,06	0,07	–
2	Кисневе	0,08	0,16	0,25	0,50
	Плазмово-дугове	0,10	0,20	0,32	–
3	Кисневе	1,16	0,25	0,50	1
	Плазмово-дугове	0,20	0,32	0,63	–
Відхилення від перпендикулярності поверхні					
1	Кисневе	0,2	0,3	0,4	0,5
	Плазмово-дугове	0,4	0,5	0,7	–
2	Кисневе	0,5	0,7	1	1,5
	Плазмово-дугове	1	1,2	1,6	–
3	Кисневе	1	1,5	2	2,5
	Плазмово-дугове	2,3	3	4	–

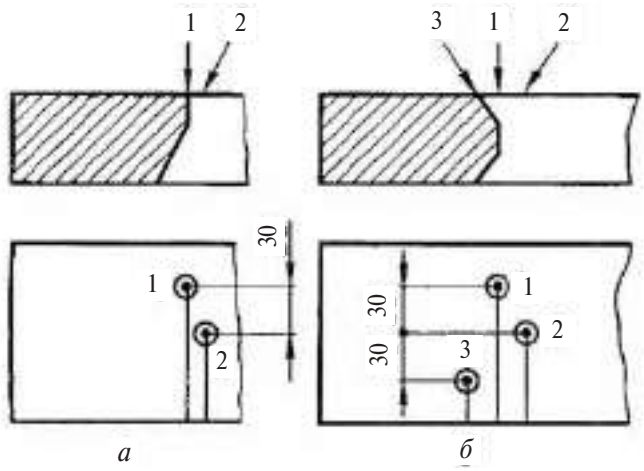
Примітки: 1. Шорсткість поверхні розрізу визначається вимірюванням висоти нерівностей профілю R_z у 10 точках на базовій довжині 8 мм; при товщині металу до 60 мм – всередині товщини, більше 60 мм – у двох місцях, з відступом від верхньої і нижньої кромок на 10 мм. 2. Радіус оплавленої верхньої кромки не повинен перевищувати 2 мм.

На початку різання різак встановлюється під нахилом 2–3° у напрямку руху, а в кінці він відхиляється у протилежному напрямку для можливості прорізування нижньої частини заготовки. Щоб збільшити довжину підігрівального полум'я, його формують із більшою витратою ацетилену.

Звичайно розріз починається з кромки виробу, а в разі вирізання в ньому внутрішніх частин (отворів, фланців) у металі, який піде у відходи,

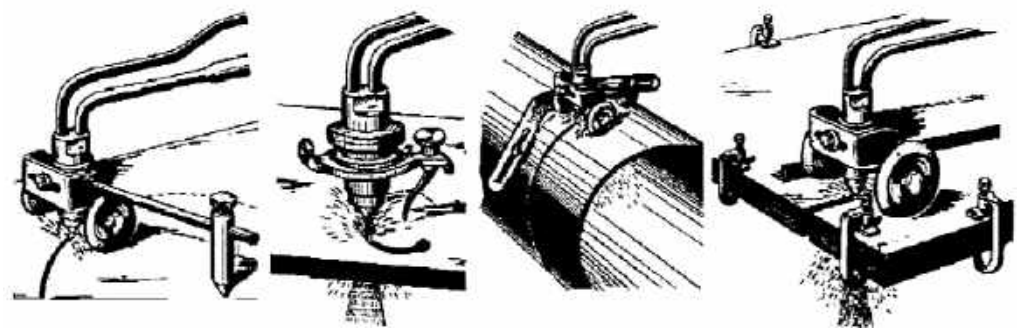
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

робиться отвір, і від нього починається різання. Розчищення кромок для зварювання виконують одночасно двома або трьома різаками (мал. 15.4) за одну операцію зі зміщенням їх у напрямку різання на 20–40 мм.



Мал. 15.4. **Схема одночасного різання кромок двома (*а*) і трьома (*б*) різаками**

При ручному різанні користуються простими пристроями: опірним візком для різака, циркулем, напрямними лінійками тощо (мал. 15.5). Різання профільного металу виконують згідно зі схемою на мал. 15.6, а для заготовки значної кількості однакових деталей застосовують пакетне різання (мал. 15.5, *г*).

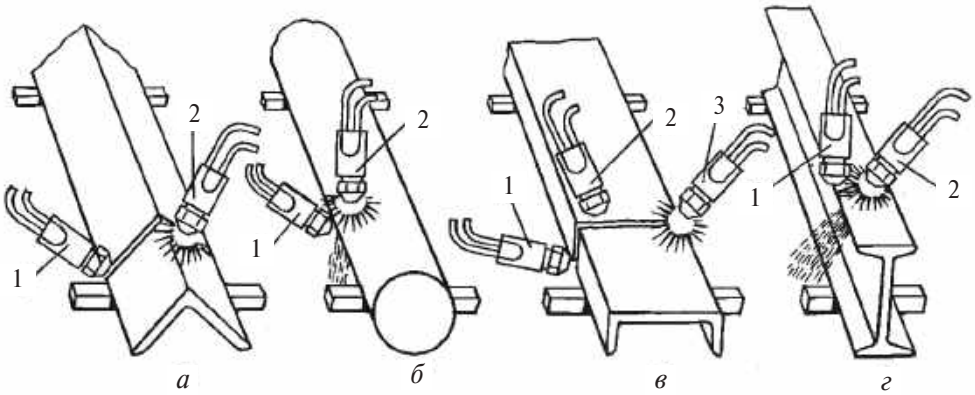


Мал. 15.5. **Пристрої для різака:**
а, б – для вирізання фланців і отворів; *в* – для різання труб; *г* – для пакетного різання листового металу

При машинному різанні поверхня металу має бути чистою і розміщеною горизонтально, щоб стріла прогину не перевищувала 3 мм на 1 м довжини. Після встановлення параметрів режиму запалюють полум'я різа-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ка, підігрівають місце початку розрізування до температури згоряння, а потім поступово відкривають вентиль різального кисню, одночасно опускаючи різак і збільшуючи тиск різального кисню до оптимального. На сучасних різальних машинах цим процесом керують спеціальні пристрої. Пробивають отвори поза контурами вирізаної деталі, мінімальна відстань від отвору до контура становить 6–45 мм для металу товщиною від 10 до 100 мм.



Мал. 15.6. **Положення різака при різанні профільної сталі:**
а – кутників; *б* – круглого прокату; *в* – швелерів; *г* – двотавра;
1 – початок різання; 2, 3 – кінець різання

15.2. ОСОБЛИВОСТІ РІЗАННЯ ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Як і при зварюванні, при різанні заготовки також деформуються. Деформації мають вигляд укорочення, подовження або вигин елемента.

Вирізані елементи великих розмірів, як правило, мають вигин, елементи малої ширини (до 100 мм) стають опуклими. Способи боротьби з деформаціями при різанні такі:

1. *Вибір раціональної технології* – правильний початок різання на оптимальному режимі, не застосовувати потужного підігрівального полум'я, вирізати заготовки не з цілого листа, а з попередньо нарізаних шматків. При вирізанні деталей з великого листа спочатку ріжуть по тих сторонах деталі, які мають найменший припуск на обробку кромок або більшу довжину. При машинному різанні процес здійснюють безперервно, «на прохід» по всьому периметру деталі одночасно кількома різаками.

2. *Застосування жорсткого закріплення кінців розрізу* – спочатку виконують поздовжні розрізи, не доводячи їх до кінця, а потім – поперечні, з утворенням перемичок. Тоді деформація вирізаних полос буде однаковою. Перемички виконують і при вирізанні фігурних деталей.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

3. *Попереднє підігрівання місця* вирізання деталі до температури 300–500°С – сприяє рівномірному охолодженню металу. Цей спосіб рекомендується для вирізання дрібних і тонких елементів, а також для погано розрізуваних та схильних до утворення гартувальних структур сталей. Зменшити деформації можна безперервним охолодженням водою зони термічного впливу, а саме різання виконувати на стелажах із великою кількістю опор.

Суть киснево-флюсового різання полягає в тому, що в зону розрізу з різальним киснем вводиться спеціальний порошкоподібний флюс, при згорянні якого виділяється додаткова теплота, підвищується температура, а продукти згоряння флюсу, взаємодіючи з тугоплавкими оксидами, легко видаляються із зони розрізу.

Склад флюсів для киснево-флюсового різання визначається залежно від виду різання і властивостей розрізуваного металу або сплаву. Так для роздільного і поверхневого киснево-флюсового різання нержавіючих сталей застосовують залізний порошок (100 %), для відокремлюючого різання чавуну – суміш 65–75 % залізного порошку і 35–25 % доменного ферофосфору. Мідь розрізають флюсом із 70–80 % залізного порошку і 30–20 % алюмінієвого порошку.

Розрізуваність легованих сталей залежить від їх складу й умов виконання процесу.

Хромонікелеві аустенітно-феритні сталі розрізаються без обмежень. Бажане інтенсивне охолодження при різанні.

Для одержання якісного розрізу хромонікелевих аустенітних сталей потрібне інтенсивне охолодження кромок під час різання або подальша термообробка – нагрівання до температури 1050–1150°С і швидке охолодження.

Різання високохромистих сталей з 16–30 % Cr і до 0,3 % С слід здійснювати з максимальною швидкістю. Після різання метал потрібно нагріти до температури 750–850°С і охолодити у воді або струменем стиснутого повітря.

Високохромисті сталі (12–18 % Cr і до 0,15 % С) слід підігрівати до температури 250–300°С. Після різання доцільний відпал при температурі 650–950°С.

Хромисті сталі (5–15 % Cr і до 0,5 % С) попередньо підігрівають до температури 250–300°С. Після різання рекомендується гартування з відпуском.

Техніка киснево-флюсового різання така ж, як і кисневого. Воно може бути як ручним, так і механізованим. Найкращі результати одержують при різанні хромонікелевих і хромистих сталей, задовільні при різанні чавуну. Якість розрізів міді й алюмінію низька, тому після киснево-флюсового різання потрібна механічна обробка кромок. Плазмово-дугове різання витісняє киснево-флюсове.

Різання кисневим списом виконують із застосуванням тонкостінної сталевої трубки (списа) з зовнішнім діаметром 20–35 мм. Її приєднують

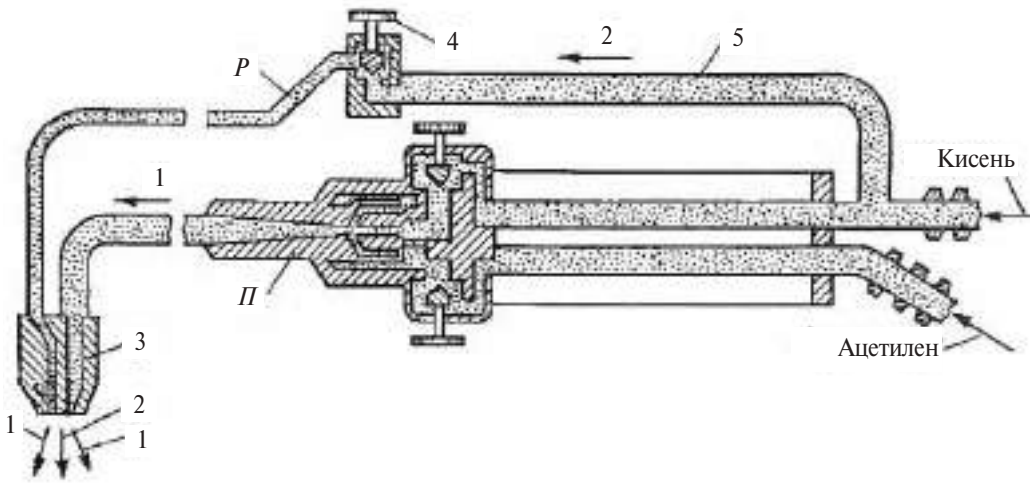
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

до рукоятки з вентилем для кисню, який і подається до місця розрізу. Перед початком різання кінець трубки підігрівають до температури загоряння, гарячим кінцем спис сильно притискують до виробу (метал, бетон, залізобетон) і пропалюють у такий спосіб отвір. Утворювані шлаки тиском кисню і газів видаляються назовні в зазор між списом і стінкою пропалюваного отвору, для чого спису надають зворотно-поступальний і обертальний рухи.

Як флюс використовується суміш 85 % залізного і 15 % алюмінієвого порошків. Сталеві трубки мають діаметр 1/4, 3/8, і 1/2 дюймів. Найефективнішим є використання киснево-флюсового спису діаметром 3/8 дюймів при витраті флюсу 30 кг/год.

15.3. ОБЛАДНАННЯ І ЙОГО ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Різаки кисневого різання слугують для змішування горючого газу з киснем для утворення підігрівального полум'я і подачі до розрізуваного металу струменя різального кисню. Найпоширеніші універсальні інжекторні різаки, якими можна різати сталь товщиною від 3 до 300 мм (мал. 15.7).



Мал. 15.7. **Схема інжекторного газокисневого різака:**
Р – різальна частина; *П* – підігрівальна частина

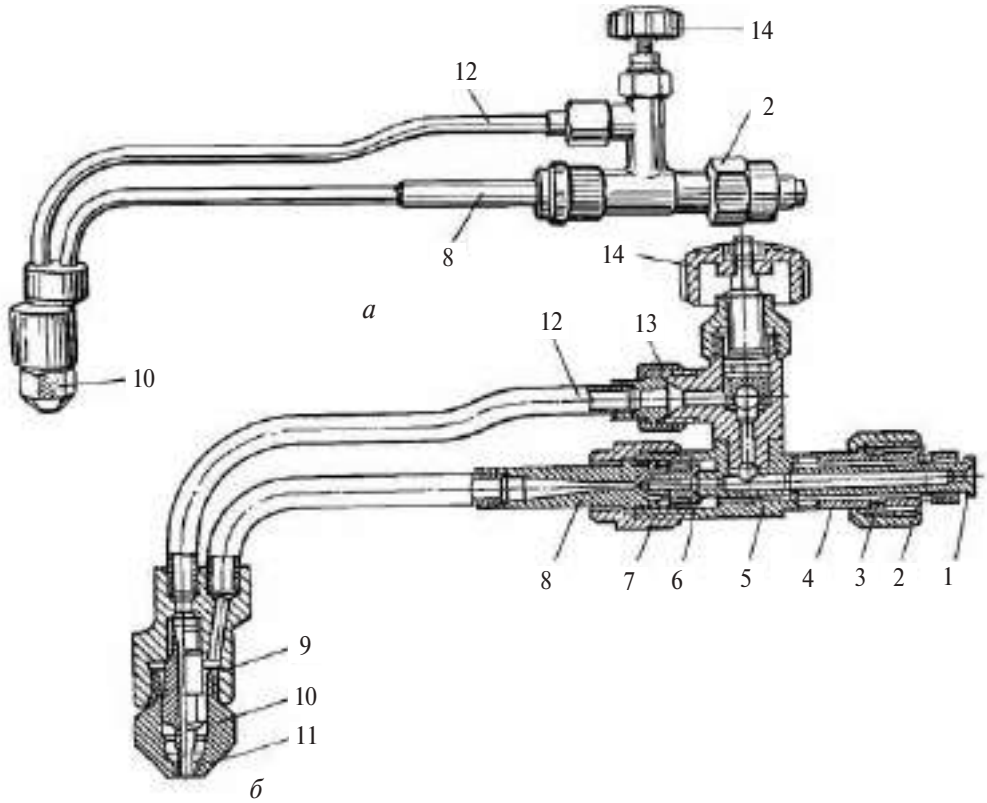
Підігрівальна частина така ж, як у зварювального пальника, різальна має додаткову трубку 5 для подавання різального кисню і вентиль 4 для регулювання його подачі.

У мундштуці 3 є два концентрично розташованих отвори для виходу підігрівального полум'я 1 і різального струменя 2. Ніпель для горючого газу приєднується до штуцера ствола лівою різзю, а до штуцера для кисню – правою.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Головка має змінні мундштуки, їх параметри залежать від товщини розрізуваного металу. За їх допомогою регулюють витрату газів і потужність підігрівального полум'я. Струмінь різального кисню проходить по центральному каналу. Застосовують мундштуки з кільцевим розміщенням підігрівального полум'я (щілиноподібні) і багатосоплові. Багатосоплові складніші за конструкцією і у виготовленні, а при експлуатації часто забиваються шлаком, що призводить до стуків і зворотних ударів. Всі мундштуки виготовляються з бронзи БрХ0,5, на її поверхні утворюється тугоплавка плівка оксиду хрому, яка зменшує можливість прилипання бризок.

При монтажних і ремонтних роботах, коли є часті переходи від зварювання до різання і навпаки, застосовують спеціальні вставні різаки, які приєднують до стволів універсальних зварювальних пальників «Звезда», ГС-3, ГС-2 тощо (мал. 15.8).



Мал. 15.8. **Зовнішній вигляд (*а*) і внутрішня будова (*б*) вставного різака РГС-70:** 1 – ніпель; 2, 7, 13 – накидні гайки; 3 – ущільнювальне кільце; 4 – штуцер; 5 – корпус; 6 – інжектор; 8 – змішувальна камера; 9 – головка різака; 10 – зовнішній мундштук; 11 – внутрішній мундштук; 12 – киснева трубка; 14 – вентиль регулювання подачі різального кисню

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Кожний різак складається з корпуса 5 з вентилем 14 для різального кисню, змішувальної камери 8, головки з мундштуком і приєднувального пристрою з накидною гайкою 2.

Аналогічні зарубіжні моделі відрізняються лише важільною пружинною системою подавання різального кисню, що спрощує регулювання під час різання (мал. 15.9).

Мал. 15.9. **Зовнішній вигляд вставного різака фірми «Uniweld Products» (США)**

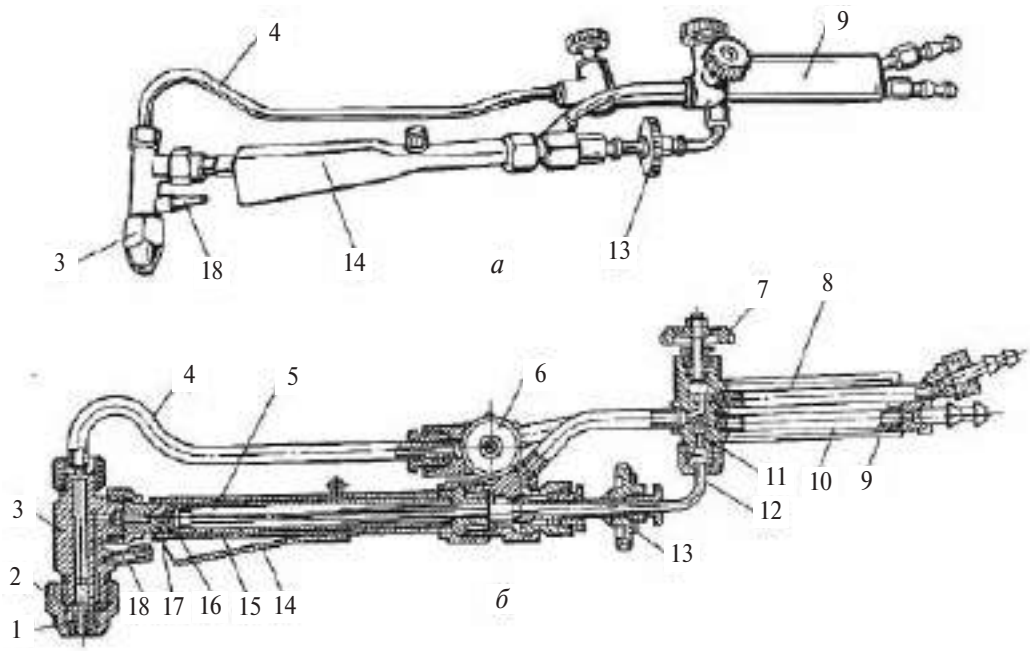
Досить поширені гасорізи. У них для підігрівального полум'я використовують суміш пари гасу з киснем. Вона утворюється у спеціальній випарювальній камері, через яку проходить гас, а її нагрівання здійснюється додатковим полум'ям. Різак (мал. 15.10) складається з корпуса 11 з вентилем 7 для подавання кисню і гасу, випарювальної камери 15, головки 3 з мундштуками 1 і 2 і трубки 10 для подавання різального кисню. Найчастіше гасорізи застосовують при ремонтних роботах на монтажі, всередині виробів, коли використання горючих газів пов'язане з труднощами транспортування балонів із міркувань безпеки праці.

Машинне кисневе різання виконується на стаціонарних і переносних апаратах. Перші застосовуються при масовій підготовці деталей до зварювання, для вирізання однотипних заготовок, розкрою листового металу тощо. Вони здійснюють як прямолінійне, так і фігурне різання. Кожна машина складається з несучої частини, одного або кількох різаків, ведучого механізму і пульта керування. Основним вузлом стаціонарних машин є система копіювання – фотоелектронного дистанційно-масштабного і програмного (мал. 15.11).

Переносні машини (мал. 15.12) – це самохідні візки, оснащені машинними різаками і приводом (електродвигуном, пружинним механізмом або газовою турбінкою). Вони розмішуються на листі або трубі і виконують ті самі функції, що і стаціонарні машини. Їх рух направляється по нанесеній розмітці циркульним пристроєм, напрямним або гнучким копіром.

Для киснево-флюсового різання розроблена установка УРХС-5, яка складається з флюсоживильника ФП-1-65 з регульованим цикловим пристроєм і спеціального киснево-флюсового різака РАФ-1-65. Вона працює за схемою зовнішнього подавання флюсу, завдяки чому за допомогою спеціального оснащення можна переобладнати для цього процесу будь-які ручні і машинні різаки.

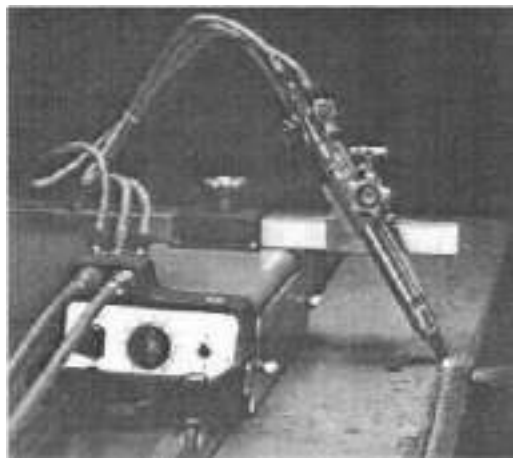
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 15.10. **Зовнішній вигляд (*а*) і будова (*б*) гасокисневого різака РК-71:**
1 і 2 – внутрішній і зовнішній мундштуки; 3 – головка; 4 – трубка різального кисню; 5 – асбестова оплітка; 6 – вентиль для різального кисню; 7 – вентиль для подавання гасу; 8 і 10 – трубки для подавання відповідно гасу і кисню; 9 – рукоятка; 11 – корпус; 12 – трубка підігрівального кисню; 13 – вентиль регулювання подачі горючого; 14 – щиток; 15 – випарювач; 16 – інжектор; 17 – змішувальна камера; 18 – підігрівальне сопло

Мал. 15.11. **Стаціонарна машина для газокисневого різання з програмним керуванням марки ОХУТОМЕ фірми «AIR-LIQUIDE Group»**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 15.12. **Переносна машина для газокисневого різання марки PYROTOME фірми «AIR-LIQUIDE Group»**

Установка УФР-5 застосовується для киснево-флюсового різання залізобетону, вогнетривів, для порошково-списового різання і пропалювання. Складається зі списотримача, флюсоживильника з візком і ручного різака.

Деякі підсумкові дані щодо можливості і доцільності використання способів термічного різання наведено в табл. 15.6.

Таблиця 15.6

Сучасні способи термічного різання чорних і кольорових металів

Метал	Дугове	Повітряно-дугове	Плазмово-дугове	Газо-кисневе	Киснево-флюсове	Газо-лазерне
Низьковуглецева сталь	±	+	+	+	±	+
Корозійностійка сталь	+	+	+	–	+	+
Чавун	+	+	+	–	+	±
Алюміній і його сплави	±	±	+	–	–	–
Мідь і її сплави	+	±	+	–	±	–
Нікель	±	±	+	+	±	+
Титан	±	±	+	+	±	–
Магнієві сплави	–	–	+	–	–	–
Бетон, вогнетриви	–	–	–	±	+	–

Примітка. «+» – різання доцільне, «±» – недоцільне, «–» неможливе.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть газокисневого різання?
2. Охарактеризуйте умови розрізуваності сталей і сплавів.
3. Як впливають легуючі елементи на розрізуваність сталей?
4. Які основні параметри режиму різання і їх вплив на якість розрізу?
5. Як впливає ступінь чистоти кисню на якість розрізу?
6. Які основні параметри розрізу?
7. Що таке шорсткість і неперпендикулярність розрізу?
8. Які пристрої полегшують процес різання листового і профільного металу?
9. Як залежать параметри режиму різання від товщини розрізуваного металу?
10. У чому полягає суть киснево-флюсового різання? Які галузі його використання?
11. Як виконують отвори в залізобетонних виробах?
12. Яку будову має різак для газокисневого різання?
13. Де використовується обладнання для механізованого різання, яка його будова?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

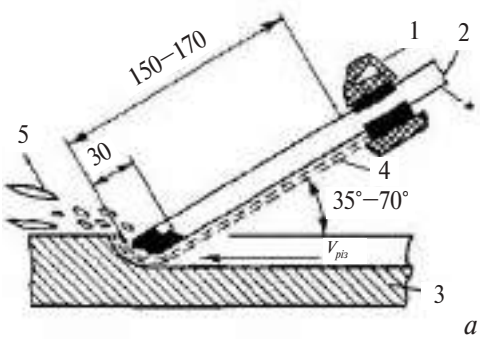
Розділ 16

ДУГОВЕ І ПЛАЗМОВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ (82)

16.1. ДУГОВЕ РІЗАННЯ. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА РІЗАННЯ

Для відокремлюючого різання використовують звичайні електроди для зварювання, підвищивши силу струму на 20–30 %, але краще застосовувати спеціальні електроди. Швидкість різання сталі при цьому досягає 12 м/год, а товщина розрізаного металу не перевищує 15 мм. Деталь треба розташовувати так, щоб була можливість вільного витікання рідкого металу з лінії розрізу.

Різання виконують і графітовими електродами, але кращі результати досягаються при використанні повітрянодугового різання, коли стиснуте повітря подається в зону плавлення і сприяє видуванню розплавленого металу з лінії розрізу (мал. 16.1, *а*). Між обмідненим електродом 2 і виробом 3, підключеними до джерела живлення постійного струму, збуджується дуга. Розплавлений метал видувається стиснутим повітрям 4, яке підводиться до різака 1, при цьому повітряний струмінь має бути розташований між виробом і графітовим електродом так, щоб продукти різання 5 надійно видалялися за межі утворюваної канавки (мал. 16.1, *б*).



а

б

Мал. 16.1. **Схема повітрянодугового стругання (*а*) і процес розчищення дефектного зварного шва (*б*)**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При різанні металу завтовшки 5–12 мм графітовим електродом діаметром 6–12 мм сила струму становить 280–600 А. За таких умов інтенсивність виплавлення вуглецевої сталі 10–16 кг/год, легованої – 12–21 кг/год. Швидкість різання дорівнює відповідно 60 і 25 м/год.

Окрім різання, графітові електроди використовують для усунення дефектів зварних швів, поверхневих пошкоджень, наприклад, від кавітаційної ерозії, розчищення кромок під зварювання тощо.

Для цього застосовують і вуглецеві електроди. Обміднені, графітові й вуглецеві електроди придатні для роботи на струмі до 580 А.

Різання виконується у всіх просторових положеннях на постійному струмі зворотної полярності або на змінному.

Недоліками повітрянодугового різання є навуглецьовування поверхні різання і необхідність додаткового механічного оброблення.

16.2. ПЛАЗМОВЕ РІЗАННЯ. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ І ТЕХНІКА РІЗАННЯ

Як було розглянуто раніше у розділі 7, зварювання може здійснюватися стиснутою або плазмовою дугою прямої і непрямої дії (мал. 7.2). Її використовують і для різання металів, але для цього доцільніше застосовувати плазмову дугу прямої дії: процес має вищий ККД, а пальник менше зношується. У процесі плазмоводугового різання метал проплавляється на вузькій ділянці по лінії розрізу, а потім видаляється струменем плазми, що утворюється в дузі. Внаслідок того, що температура плазмової дуги вища, ніж звичайна, можна обробляти метали і сплави, які не піддаються кисневому різанню (високолеговані сталі, алюміній, мідь і їх сплави), забезпечуючи вищу якість розрізу порівняно з повітрянодуговим способом.

Зі збільшенням товщини металу від 10 до 80 мм для корозійностійких сталей, мідних і алюмінієвих сплавів ширина розрізу збільшується від 5–6 мм до 12–15 мм, а величина припуску на механічну обробку також зростає з 2 до 5 мм.

Залежно від властивостей розрізуваних металів для утворення плазмового потоку застосовуються різні газові середовища (табл. 16.1). Товщина розрізуваного металу обмежується робочою напругою процесу.

За максимально допустимої величини робочої напруги плазмотрону, що дорівнює 120–140 В, найбільша товщина розрізуваних корозійностійких і вуглецевих сталей, алюмінієвих і мідних сплавів становить 80–100 мм.

Якщо як плазмоутворюючий газ застосовується кисень, поверхня розрізу низьковуглецевої сталі є придатною для зварювання без додаткової обробки. У разі використання повітря або азоту механічна обробка кромок обов'язкова.

Параметрами режиму плазмово-дугового різання є сила струму, діаметр сопла, напруга плазмової дуги, швидкість різання і витрата газу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 16.1

Газове середовище для плазмово-дугового різання

Газ		Розрізуваний метал		
плазмо-утворюючий	захисний	сталь		алюміній
		низько-вуглецева	нержавіюча	
Повітря	Повітря	++	++	++
O_2	Повітря	+++	–	–
N_2	CO_2	+	++	+++
N_2	Повітря	+	++	++
N_2	H_2O	+	+++	+++
Ar + 35 % H_2	N_2	–	+++	+++

Примітка. +++ – виключно висока якість розрізу, не потрібно додаткової механічної обробки кромок, висока стійкість електрода; ++ – високі якість розрізу, стійкість електрода; + – задовільна якість розрізу, кромки потребують механічної обробки, висока стійкість електрода; – – застосування не рекомендується.

З метою покращення умов праці, підвищення якості кромок, зменшення теплових деформацій деталей і збільшення швидкості різання процес виконують із додатковою подачею води в зону різання. Техніка плазмово-дугового різання така ж сама, як і газово-кисневого і повітряно-дугового, запалювання дуги здійснюється за допомогою осцилятора, який вимикається одразу ж після утворення дуги.

При лазерному різанні завдяки високій концентрації енергії у світловому промені йде локальне плавлення та випаровування матеріалу будь-якого складу: сталі, скла, пластмаси, дерева, кераміки, текстилю тощо. Параметрами режиму цього виду різання є: потужність – залежить від товщини і природи матеріалу (див. нижче); вид різального газу (кисень, азот, повітря) – залежить від природи матеріалу і його товщини; швидкість різання – залежить від природи матеріалу, його товщини і потужності (табл. 16.2).

Таблиця 16.2

Гранична товщина розрізуваних матеріалів залежно від потужності випромінювання

Потужність випромінювання, кВт	Гранична товщина, мм		
	Сталі	Алюмінієві сплави	Органічне скло
0,5	3–5	2	30
1,0	5–7	3–4	50
4,9	8–18	6–8	–

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

16.3. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО І ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ

Плазмове різання здійснюється ручним і механізованим способом.

Електродугове різання покритими і графітовими електродами виконується на обладнанні й апаратурі для ручного дугового зварювання.

За конструкцією різаки для повітрянодугового різання подібні до звичайних електродотримачів для ручного дугового зварювання. Відмінність лише в тому, що різаки мають додаткову втулку з отвором для підводу стиснутого повітря (мал. 16.1). Для різання використовують стругачі як саморобні, так і промислового виготовлення для ручного і напівавтоматичного стругання і різання.

Головним вузлом пальника для плазмового різання є різак (мал. 16.2). До ствола 6 через палець клапана 5 приєднується електрод 4. Матеріал останнього залежить від виду плазмоутворюючого газу. Якщо це аргон або аргоно-воднева суміш, матеріалом електрода є вольфрам – чистий чи з домішками лантану, торію або ітрію.

Мал. 16.2. **Різак для ручного плазмового різання**

В інших випадках використовують змінні гільзові мідні електродні плівкові катоди з гафнієвими або цирконієвими вставками, які здатні утворювати відповідні оксидні електропровідні плівки. Такі катоди можуть досить тривалий час працювати в окислювальному середовищі. Працездатність катодного вузла залежить від сили струму (чим вона більша, тим швидше зношується катод) і від системи охолодження (водоохолоджувальний катод слугує довше). Так, для машинних плазмотронів з цирконієвими катодними вставками і водним охолодженням при силі струму 250–300 А тривалість роботи катода не перебільшує 4–6 год. За електродом розташований кільцевий завихрювач 3 і сопло 2, що звужується, де плазмовий потік стає жорстким. Його енергія більш концентрована, а швидкість і різальна спроможність дуги зростає. На кінці різака знаходиться керамічне сопло 1, по центру якого проходить плазмовий потік, а по периферії подається захисний газ у зону розрізання металу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Крім того, захисний газ охолоджує різак. Всі елементи різака мають щільно прилягати один до одного, але їх перетиск недопустимий, оскільки це призведе до псування різі на стволі. Для плазмово-дугового різання як джерело живлення застосовують дугу постійного струму прямої полярності з крутоспадними вольт-амперними характеристиками і з напругою холостого ходу 180–500 В.

Можливість і доцільність використання деяких термічних видів різання наведено в табл. 15.6, 16.1.

Машинне різання виконується на обладнанні, яке за принципом роботи і конструкцією не відрізняється від машин, що застосовуються для кисневого різання.

Для різання великих і середніх товщин застосовують потужні джерела живлення трифазного струму, який перетворюється випрямлячами в постійний струм; вони важкі і мають великі габаритні розміри.

Для невеликих товщин металу (до 20 мм) використовують легкі і портативні переносні джерела живлення інверторного типу. Кожне джерело має спеціальний пристрій – осцилятор, за допомогою якого збуджується електрична дуга без торкання електродом виробу. Осцилятор генерує у дуговий проміжок енергію високої частоти (декілька тисяч герц) і напруги (декілька тисяч вольт), внаслідок чого електричний розряд пробиває повітряний проміжок завдовжки 10 мм. Після утворення плазмової дуги осцилятор автоматично вимикається.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як можна розрізувати метал зварювальною дугою?
2. У чому полягає суть повітряно-дугового різання? Які галузі його використання?
3. У чому полягає суть плазмового різання? Які галузі його використання?
4. Як впливають умови газового середовища на якість розрізу?
5. Як побудовано різак для повітряно-дугового різання?
6. Як побудовано різак для плазмово-дугового різання?
7. Які галузі використання механізованого плазмового різання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 17

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вихідними даними для розробки технологічного процесу виготовлення зварної конструкції є креслення виробу, технічні умови і програма випуску. У кресленнях і технічних умовах містяться відомості про матеріал заготовок, їх розмір і конфігурацію, типи зварних з'єднань, ступінь їх відповідальності, вимоги до матеріалів і обладнання, а також до виконання технологічних і контрольних операцій, критерії якості зварних з'єднань. Програма випуску визначає вибір обладнання, технологічного оснащення і рівня механізації, дає змогу оцінити економічну ефективність технологічного процесу, який складається з основних операцій, що послідовно виконуються (заготівельних, складальних, зварювальних, контрольних, оздоблювальних) і допоміжних (транспортувальних, кантувальних тощо).

Все це викладено в технічних умовах і атестації технології зварювання металевих матеріалів згідно з ДСТУ ISO15609-1:2008 Технологічна інструкція зі зварювання. Частина 1. Дугове зварювання.

Інструкції зі зварювання потрібні для складання і визначення задовільної основи планування зварювальних робіт, а також для забезпечення контролю якості під час зварювання.

Вона створює потрібну основу для виконання вимог до зварних швів, вона потрібна виробникам і споживачам зварювального виробництва України для визначення та встановлення міжнародних вимог до безпечного експлуатування конструкцій, атестування технології зварювання на відповідність вимогам нормативної та конструкторської документації та/або вимогам, визначеним контрактом на виготовлення зварних конструкцій. В її склад входять відомості про виробника, тип і розміри основного матеріалу, процес зварювання, вид з'єднання, положення зварювання, підготування і очищення з'єднуваних крайок, техніка зварювання, видалення (кореня шва) підкладки, підкладка, зварювальний матеріал, електричні параметри, механізоване й автоматичне зварювання, температура попереднього підігрівання, підігрівання для видалення водню, термообробляння після зварювання, захисний гааз, характеристика окремих процесів зварювання.

Усі технологічні операції для одиничного і дрібносерійного виробництва описуються на маршрутних картах та на операційних картах. В операційних картах наводиться опис усіх операцій різних видів робіт в їх технологічній послідовності й вказуються параметри режиму зварювання, обладнання, інструмента, оснащення, матеріали і норми часу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Часто карти доповнюються ескізами, схемами, таблицями, потрібними для розуміння і виконання операцій і переходів.

17.1. ЗАГОТІВЕЛЬНІ Й СКЛАДАЛЬНІ РОБОТИ

Якість складання і зварювання деталей залежить від якості їх виготовлення. Металопрокат, який надходить на підприємство, часто потребує виправлення, що виконується на багатовалкових листо- або сортоправильних машинах у холодному стані. У разі товстого, сильно деформованого металу використовують локальне поверхневе нагрівання газовими пальниками. Поверхню металу очищають від забруднень, іржі та окалини на механізованих лініях, в які вбудовано дробометальні або голкофрезерні механізми з камерами для покриття очищених поверхонь ґрунтом, що захищають від подальшого окислення.

Розмітку виконують вручну, використовуючи стандартний інструмент (лінійки, кутники, циркулі, кернери тощо), чи за допомогою шаблонів. Самі лінії наносять крейдою, кернером, графітовим олівцем тощо з урахуванням припусків на механічну обробку і зварювання.

Для механічного різання застосовують гільйотинні, універсальні прес-ножиці чи дискові ножиці, механічні пилки, абразивні круги, штампи для вирубки.

Ручним і напівавтоматичним термічним способом розрізають по розмітці, а автоматичним – по копірах, по кресленнях-копірах або на машинах з програмним керуванням. Механічну обробку по розчищенню кромок виконують на кромкострогальних або фрезерних верстатах, а іноді поєднують з термічними способами різання.

Деталі циліндричної або конічної форми одержують згинанням листів на три- або чотиривалкових вальцях у холодному чи гарячому стані або штампуванням. Деталі складної кривизни виготовляють витяжкою, вальцюванням, обтяжкою, видавлюванням на спеціальних машинах.

Згинання деталей із сортового прокату (куток, швелер, труба тощо) виконується на роликозгинальних і трубозгинальних верстатах, які оснащені комплектом згинальних роликів для кожного виду профілю. Кромки деталей зачищають від грату, задирок, іржі за допомогою пневмозубил і шліфувальних машинок з абразивними або дротовими кругами.

Трудомісткість складання деталей для зварювання становить від 10 до 32 % загальної трудомісткості виготовлення зварного виробу.

Існує три підходи до виконання складальних і зварювальних робіт: повне складання виробу з усіх складових його деталей і їх приварювання до раніше звареної частини виробу, послідовне приєднання деталей з їх приварюванням до раніше звареної частини виробу та повузлове складання і зварювання, коли виріб поділяють на технологічні вузли, які складають і зварюють окремо, а потім з них складають і зварюють

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

виріб у цілому. Відносно прості вироби з невеликою кількістю деталей простої форми виготовляють першим або другим способами. Складні просторові конструкції доцільно поділити на технологічні вузли. Найбільш трудомістким, особливо в одиничному і дрібносерійному виробництві, є робота складальників зварних виробів, де ступінь механізації не перевищує 5 %.

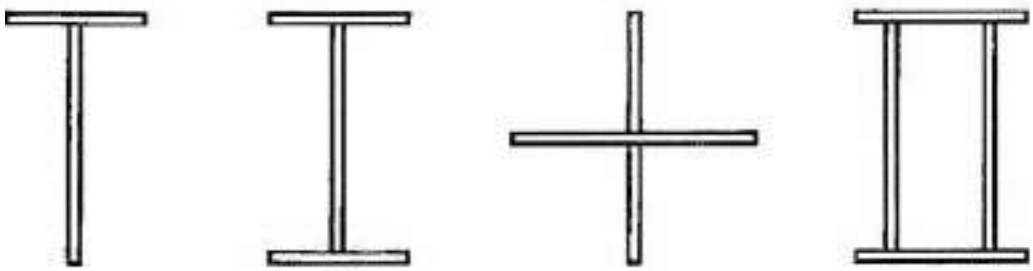
Пристрої і оснащення, як складальні, так і для зварювання вже зібраних вузлів, наведені в розділі 14, не набагато полегшують працю робітників. Лише при значних програмах випуску виробів можливе використання продуктивніших пристроїв і оснащення. Зібрані деталі з'єднують між собою прихватками з поперечним перерізом не більше 50 % перерізу зварного шва завдовжки 4–5 товщин зварюваних деталей, але не менше 30 і не більше 100 мм з відстанню між ними в межах 100–1000 мм. При подальшому зварюванні прихватки переварюються, але перед цим їх треба ретельно зачищати від бруду і шлаку.

Перед зварюванням за допомогою шаблонів і щупів потрібно перевірити правильність складання. Величина зазорів має відповідати вимогам стандартів.

17.2. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ БАЛОК

Балки є основними елементами рамних конструкцій при виготовленні будівельних споруд, мостових кранів, вагонів, автомобілів і багатьох інших машин і механізмів. Залежно від призначення для їх виготовлення використовують не лише конструкційні сталі, але й алюмінієві і титанові сплави.

Балки виготовляються з листового матеріалу і можуть мати тавровий, двотавровий, хрестовий або коробчастий переріз (мал. 17.1).



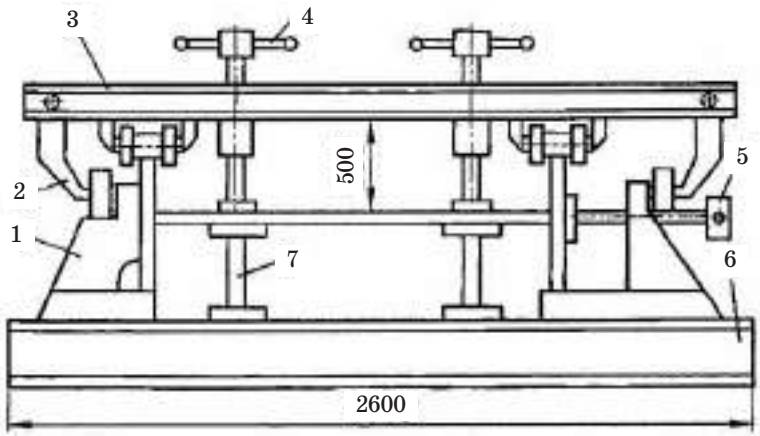
Мал. 17.1. **Типи зварних балок:**
а – таврова; *б* – двотаврова; *в* – хрестова; *г* – коробчаста

Вони мають висоту до 2000 мм при товщині стінок 10–16 мм і товщині полиць 16–50 мм.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

На стінках балок вище 800 мм є поперечні ребра жорсткості для стійкості.

Для надійності забезпечення потрібної симетрії, перпендикулярності полиць і стінок, допустимих зазорів складання виконують у спеціальних пристроях з гвинтовими, пневматичними або гідравлічними притискачами (мал. 17.2).



Мал. 17.2. **Схема складання елементів підкранової балки у спеціальному пристрої:** 1 – боковий упор; 2 – гаки-захвати; 3 – хитна балка; 4 і 5 – притискачі; 6 – основа; 7 – нижній упор

Для запобігання втрати стійкості стиків при затисканні використовується хитна балка з гаками-захватами і притискачами 4, яка вручну перекочується по кромках полиць. При виготовленні двотаврових балок зварні шви з'єднання полиць зі стінкою виконують автоматичним зварюванням під флюсом або у середовищі захисних газів нахиленим електродом одночасно двома апаратами або «човником». В останньому випадку можна одержати якісніші шви без підрізів, але схема вимагає повертати балку після виконання кожного шва. Для цього використовують дво-стоєчні, ланцюжні, кільцеві кантувачі й горизонтальні обертачі. Такі установки комплектують зварювальними тракторами або головками залежно від габаритів балки і конструкцій кантувача чи обертача. Ребра жорсткості на стінку балки встановлюють за розміткою на прихватках, зварювання стиків ребер зі стінкою виконують, починаючи з середини балки послідовно в напрямку до її кінців. Для запобігання вигину балки її кінці жорстко кріплять до стенду болтовими або клиновими хомутами.

Балки коробчастого перерізу складають і зварюють шляхом послідовного приєднання деталей.

На верхньому поясі установлюють за розміткою діафрагми і приварюють їх вручну або напівавтоматом у середовищі вуглекислого газу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Потім до такої «гребінки» приєднують вертикальні листи, підтискуючи їх до діафрагм складальними механізмами скобоподібної конструкції пневмо- або гідропритискачами. У нижньому положенні приварюють листи до діафрагм, обертаючи балку. На П-подібний профіль укладають нижній профіль, підтискують і прихвачують його. Кутові шви зварюють на стендах у положенні «човником», причому зварювання здійснюють одночасно двома автоматами від середини балки до її кінців.

Найпоширеніші конструкції балок і колон двотаврового і хрестового перерізу виготовляють на механізованих потокових лініях, де проводиться стиковка і зварювання листових заготовок для стінок і полиць балок. Стикові однобічні шви зварюють автоматами на флюсовій подушці без розчищення кромок при товщині до 10 мм і з Г-подібним розчищенням при товщині до 24 мм. Для більших товщин потрібне двостороннє зварювання і кантування листів.

Після зварювання листи подають на обрізання і розрізання на заготовки потрібних розмірів, правку і стругання кромок на дільниці складання, зварювання, правки і фрезування торців балок. Стикові шви зварюють однодуговими автоматами, а поясні – дводуговими. Потокові лінії оснащені необхідною кількістю механізованих складально-зварювальних пристроїв. Ребра жорсткості, консолі тощо приварюють до балок в окремих кондукторах або на стелажах напівавтоматами у середовищі CO_2.

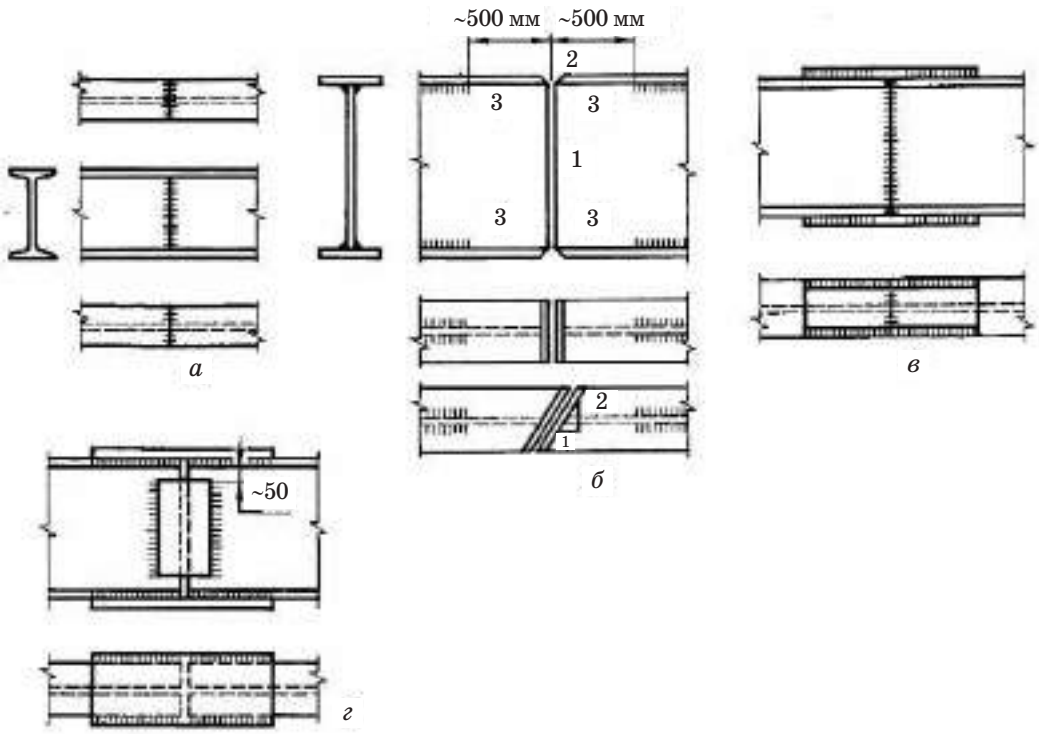
У монтажних умовах часто виникає потреба стикувати балки, виконуючи укрупнюючі стики.

Найпростіший тип з'єднання – стиковий (мал. 17.3, *а, б*), але він потребує ретельної підгонки при складанні, і в разі прямого стику міцність може зменшитись на 15 %.

Для зменшення зварювальних напружень у такому з'єднанні дотримуються певної послідовності виконання зварних швів. Вона показана цифрами 1–3. Спочатку зварюють стикові шви 1 стінки, а потім поясів 2, які мають найбільшу поперечну усадку. Залишені незавареними ділянки поясних швів довжиною до 500 мм дають можливість трохи витягуватись поясним листам при усадці швів 2 (інакше в них можуть з'явитися тріщини). В останню чергу заварюють кутові шви 3, які мають незначну поздовжню усадку. Іноді для одержання рівномірності стику при прямих швах у поясах використовують накладки (мал. 17.3, *в*). У такому разі зварювання стику починають зі стінки, а потім переходять до полиць.

З'єднання балок за допомогою накладок (мал. 17.3, *г*) відрізняється простотою виконання (не потрібна ретельна підгонка торців балки і розчищення кромок для товстих листів), але використовувати його рекомендується лише при статичних умовах навантаження, оскільки зварний вузол має значну концентрацію напружень. Товщина накладок дорівнює товщині стінки балки, а ширина становить 150–2000 мм.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 17.3. **Види стиків при з'єднанні балок:**
а – прямий (1, 2, 3 – послідовність виконання зварних швів); *б* – косий (рівноміцний стик нижнього поясу); *в* – з накладками; *г* – за допомогою накладок

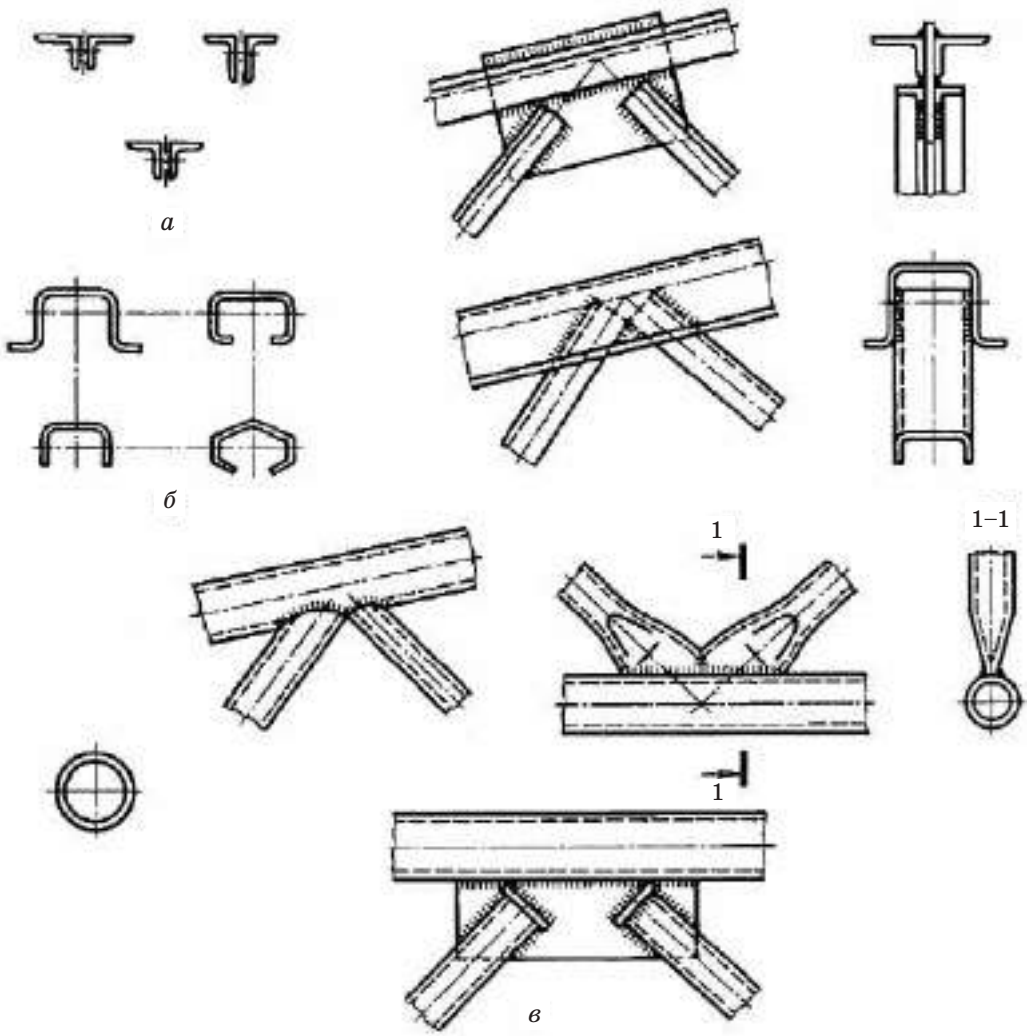
17.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ ФЕРМ

Фермами називають ґратчасті конструкції, які працюють, як і балки, на згин. Їх конструкція складається з окремих стрижнів, що з'єднуються у вузлах і створюють геометрично незмінну систему. Навантаження на ферму діють у вузлах, тому в усіх її стрижнях виникають лише поздовжні зусилля стискання або розтягування, завдяки чому метал використовується раціональніше, ніж у балках. Ферми економічніші за балки, незважаючи на більшу трудомісткість виготовлення. Ферми використовують для перекриття великих прольотів при невеликих навантаженнях, у транспортних естакадах, у конструкціях мостів, покриттів, кранів, гідротехнічних затворів, мачт, каркасів тощо. У вузлах стрижні з'єднують за допомогою листових фасонок відкритими, відносно легкими у виконанні зварними швами (мал. 17.4, *а*).

Ферми з елементами з гнутих профілів на 10–15 % легші, ніж ферми з кутиків (мал. 17.4, *б*). Проте найраціональнішою формою перерізу є трубчаста. Такі ферми економічні за масою й корозійностійкіші. З цих

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

елементів виготовляють пояси, розкоси, стояки, які скріплюються між собою за допомогою листових косинок.

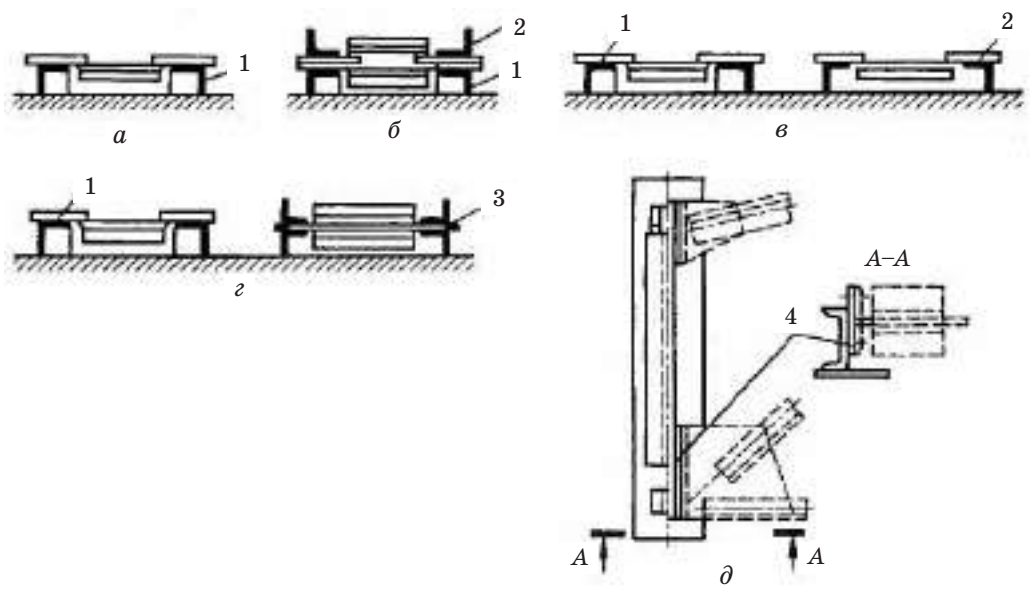


Мал. 17.4. **Типи перерізів ферм:**
а – прокатний кутик; *б* – гнутий профіль; *в* – труба

Плоскі ґратчасті конструкції складають у кондукторах або за копірами. Для виготовлення найпоширеніших ферм першого типу застосовують спеціалізовані кондуктори або універсальні переналагоджувальні складальні елементи з фіксацією стрижнів і деталей ферм іншого типу.

Трудомісткіше складання ферми за копіром (мал. 17.5), який є простим складальним кондуктором-шаблоном. Копір викладають на стелажі по осьових лініях елементів ферми та по лініях обушків верхнього й нижнього поясів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 17.5. **Схема складання ферм за копіром:**
а, б, г – схеми складання копіра, половини ферми за копіром, ферми; *в* – кантування півмуфти; д – фіксатор;
1 – копір; 2 – половина ферми; 3 – ферма; 4 – опорні плитки

На горизонтальні полиці поясів встановлюють і закріпляють прихватками фасонні прокладки і кутики ґратки. Для складання опорних частин до стелажа кріплять опорні плитки. На готовому копірі складають половину ферми, закріпляють її прихватками і перекантовують. На перекантованій половині ферми складають другу її половину, прихвачують і таким чином одержують повністю складену ферму, яку зварюють або вручну покритими електродами або напівавтоматом у середовищі захисних газів.

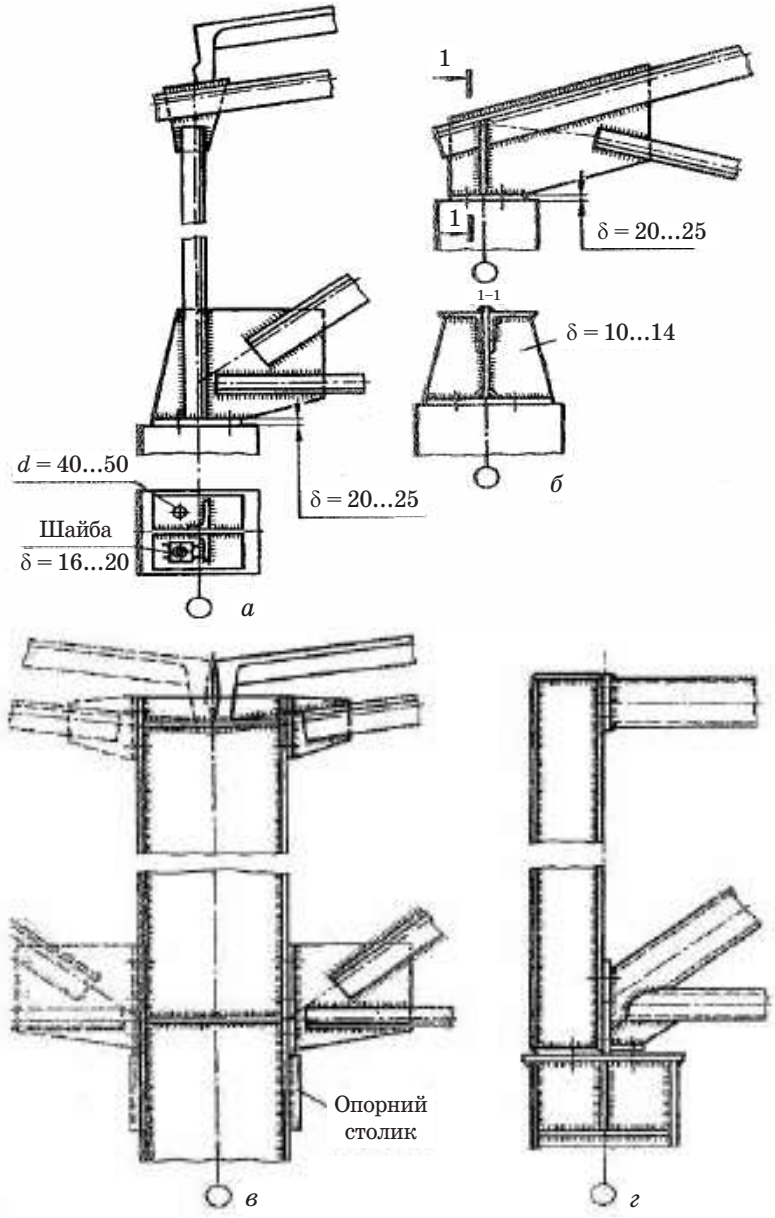
Просторові ґраткові конструкції, наприклад, кранові, мостові складають у кондукторах-кантувачах. Конструкції з паралельними поясами складають, починаючи з поясних кутників, які закріплюються фіксаторами в планшайбі кондуктора. Потім за допомогою підйомного копіра укладають елементи ґратки і закріпляють їх прихватками. Конструкції пірамідальної форми звичайно складають у два прийоми. Спочатку на копірі монтують дві бокові площини (ферми), а потім у спеціальний кондуктор-кантувач укладають зібрані площини та з'єднують їх ґраткою. Зібрані на прихватках конструкції подають на зварювальний стелаж для зварювання в CO_2. В усіх випадках зварювання виконують у нижньому положенні від краю косинки до центру перерізів осей елементів ферми.

Ферми великих прольотів перед установленням на місці укрупнюють (вони транспортуються до місця монтажу частинами). Пояси ферм з'єдну-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ються між собою за допомогою кутикових або листових накладок, які для зручності складання і зварювання спочатку закріпляються болтами.

Опорні вузли ферм мають різноманітну конструкцію, що визначає розміщення зварних швів на них (мал. 17.6).

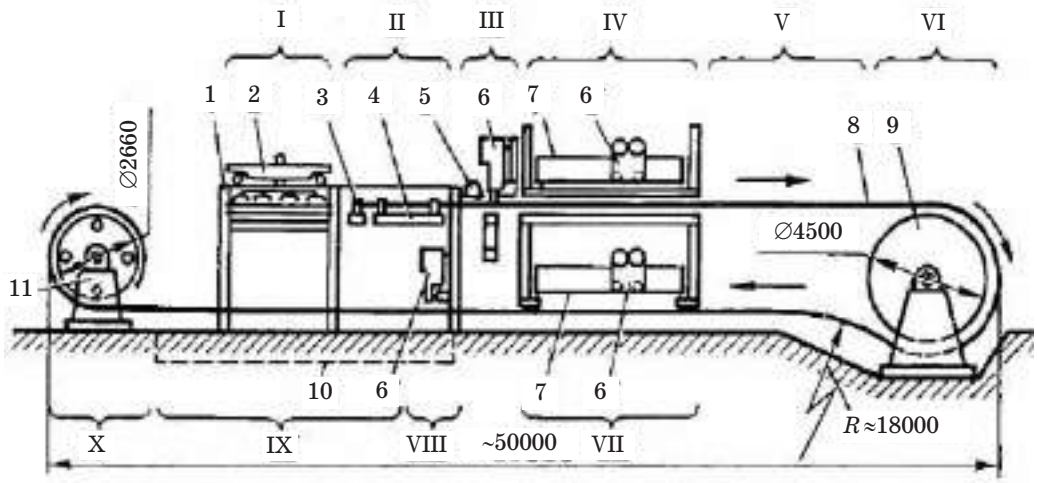


Мал. 17.6. **Опорні вузли стропильних ферм:**
а – при опиранні зверху; *б* – для ферм з великим нахилом; *в* – збоку колони на опорному столику; *г* – для ферми з труб

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

17.4. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ ЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Листові конструкції – це різноманітні споруди типу оболонок, несучою основою яких є плоскі або вигнуті металеві листи. У суднобудуванні листи завжди підкріпляються ребрами жорсткості – поздовжніми (карленгси, стрингери) і поперечними (шпангоути, бімси, флори). Номенклатура інших металевих листових конструкцій дуже велика: це резервуари для зберігання рідини, газгольдери, бункери і силосні башти для зберігання і перевантаження сипких речовин, конструкції доменних цехів, трубопроводи великого діаметра тощо. Серед них найтиповішими з точки зору використання максимальної механізації є негабаритні ємності для зберігання рідини або газу, які виготовляють методом рулонування на спеціальному двоярусному стані (мал. 17.7).



Мал. 17.7. **Схема високопродуктивної двоярусної рулонної установки:**
I–X – робочі місця стана; 1 – станина; 2 – кран-листоукладач; 3, 4 – поздовжні і бокові штовхачі; 5 – верхній поперечний візок; 6 – зварювальні автомати; 7 – боковий штовхач; 8 – полотнище; 9 – кантовочний барабан; 10 – приямок для контролю якості; 11 – згортаючий механізм

На робоче місце I за допомогою крана-листоукладача подаються підготовлені для зварювання листи, які на робочому місці II стикуються у полотнище за допомогою штовхачів, забезпечуючи потрібний зазор між ними 0–3 мм.

Після вирівнювання положення листів фіксується на мідній підкладці за допомогою пневмопритискачів. На робочій позиції II зварюють листи полотнища дводуговим автоматом під шаром флюсу, причому спочатку зварюють поперечні шви, тобто майбутні шви резервуара, а потім по-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

здовжні. Зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Перша дуга здійснює коливальні рухи поперек стику, а друга – горить між двома електродами, що одночасно подаються. Направлення електродів по стику здійснюється за допомогою світловказувача, зварювання поперечних стиків виконують у напрямку від товстих листів до тонких, причому режим зварювання зменшується за рахунок відключення однієї з дуг.

Два суміжних стики можна зварювати одночасно в одному або протилежних напрямках: зварювання починають від середини однієї секції і продовжують через раніше виконаний поперечний шов до середини попередньої секції. Одночасно на стенді працюють шість зварювальних апаратів: на кожному ярусі два апарати зварюють поздовжні стики й один – поперечний.

Після зварювання всіх стиків полотнище звільняється від притискачів (робоча позиція V) і за допомогою згортаючого пристрою (робоча позиція VI) переміщується на довжину секції, де на робочих позиціях VII–VIII зварюють стики зі зворотної сторони, після чого на позиції IX перевіряють якість зварювання, за необхідності усувають дефекти, ґрунтують полотнище, а на позиції X згортають його в рулон. На установках такого типу виготовляють полотнища шириною до 18 м, з яких монтують резервуари і газгольдери місткістю до 50 000 м^3.

Застосовують і полистове складання стінки резервуара в монтажних умовах. Листи першого поясу встановлюють по наміченій рисці і з'єднують з окрайками за допомогою кутових клинових замків.

Вертикальні стики складають почергово на нижніх поясах із зазором 4±1 мм і без зазору. На верхніх поясах величини зазору 3±1 мм. Листи кожного поясу збирають із відхиленням зовні резервуара на 10–12 мм, зміщення кромок у межах ±2 мм.

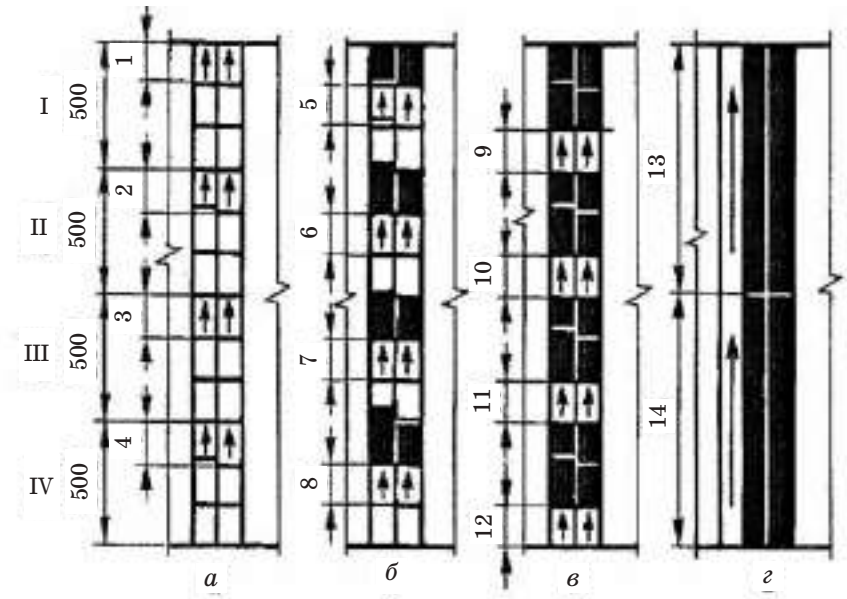
Використання стиків без зазору і відхилення листів зовні резервуара дає змогу одержати необхідну геометричну форму стиків, забезпечити рівномірну усадку вздовж стику і мінімальну деформацію стінки. На листах виконується V- і X-подібне розчищання кромок.

Зварювання кожного стику одночасно виконують два зварники з різних боків резервуара. У першу чергу зварюють стики, зібрані з зазором, а потім стики без зазору. Вертикальний стик розбивають на ділянки завдовжки 160–180 мм і кожний заповнюючий шар зварюють у послідовності, наведеній на мал. 17.8.

Останній облицювальний шар кожний зварник виконує в два прийоми, починаючи від низу середини листа. Дугове зварювання горизонтальних стиків виконується після монтажу другого поясу з зазором 4+1 мм і зміщенням кромок не більше 2 мм. Одночасно стик зварюють два зварники – один всередині, другий зовні резервуара. Горизонтальні стики

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

нижніх поясів з товщиною стінки 13–22 мм мають К-подібне розчищення кромок, а стики верхніх поясів – V-подібне. Зварювання стиків із К-подібним розчищенням починають усередині резервуара з накладанням шарів секційним методом. Довжина секції становить 600–800 мм, а кожна ділянка шва складає 200–230 мм. Зварник наплавляє три ділянки 1–3 кореневого шва, а потім по них накладає ще три 4–6 заповнюючих валики (мал. 17.9, *а*).

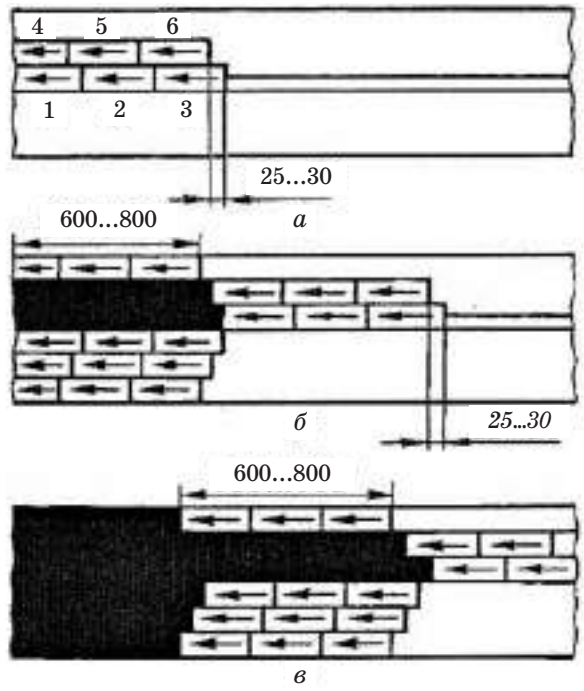


Мал. 17.8. **Послідовність зварювання вертикального стику:**
а, б, в – кореневого і заповнюючого шарів шва; *г* – облицювального шару шва; I–IV – секції вертикального стиску; 1–14 – порядок накладання кореневого, заповнюючого і облицювального шарів

З зовнішнього боку вилучають корінь шва, і другий зварник проводить зварювання своєї секції. Потім перший зварник виконує зварювання другої секції (мал. 17.9, *б*), наплавляючи два заповнюючих шари шва. У першій секції цей зварник наносить облицювальний шар, після чого порядок зварювання шарів повторюється (мал. 17.9, *в*).

Зварювання горизонтальних стиків з Г-подібним розчищенням здійснюють зовні резервуара в тій же послідовності накладання шарів, яку виконує перший зварник. Другий зварник всередині резервуара підварює корінь шва.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 17.9. **Послідовність зварювання горизонтальних стиків резервуара**

17.5. ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

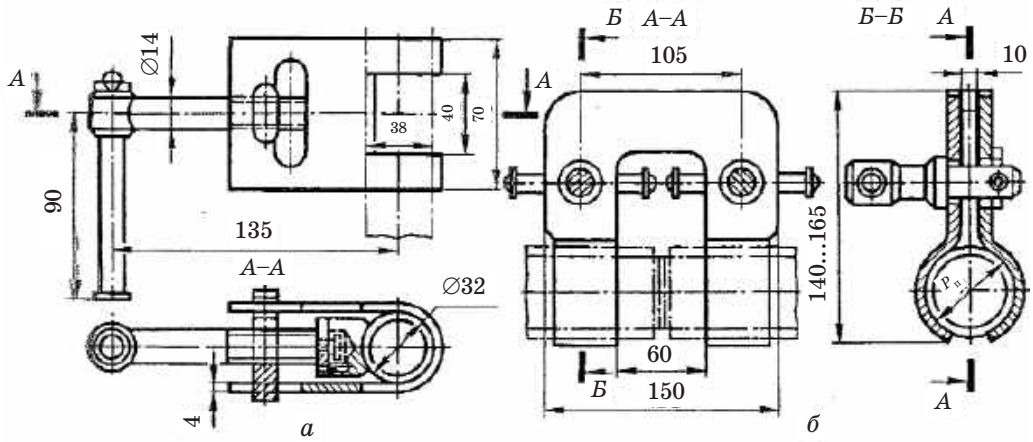
До технологічних належать трубопроводи промислових підприємств, які слугують для транспортування сировини, напівфабрикатів і готової продукції, а також проміжних продуктів і відходів виробництва. Конструкція технологічних трубопроводів складається із прямих ділянок труб, що з'єднуються, деталей, запірно-регулюючої арматури, контрольно-вимірювальної апаратури, засобів автоматики, опор, підвісок, а також прокладок.

Найчастіше при зварюванні трубопроводів застосовуються стикові і кутові шви зварних з'єднань, рідше – фасонні. Складання підготовлених для зварювання труб виконується за допомогою спеціальних зйомних центрувальних пристроїв, у деяких випадках вони тимчасово приварюються до з'єднуваних елементів (мал. 17.10, 17.11).

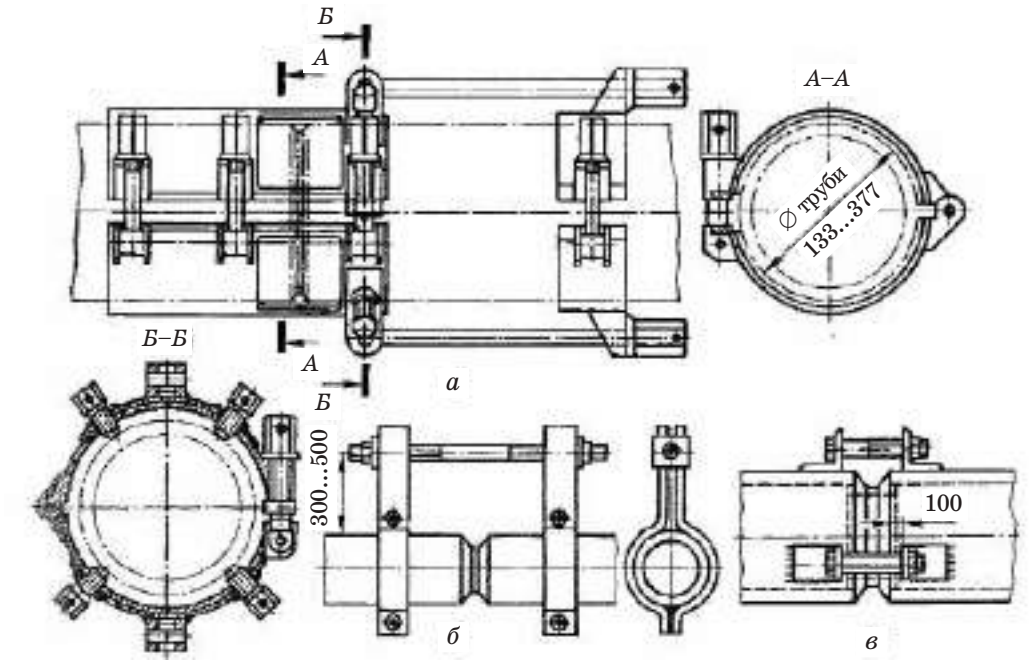
Усі складальні пристрої мають забезпечити зміщення кромок на рівні 0,5–1 мм. Лінійні параметри прихватки зібраних стиків вибираються залежно від діаметра труби і товщини. Її довжина дорівнює 2–2,5 товщинам, а крок 15–60 мм при $Д_{зовн} < 600$ мм і 70–100 мм при $Д_{зовн} > 600$ мм. Висота має бути 0,6–0,7 товщини, але не менше 3 мм при товщині < 10 мм і 5–6 мм при товщині > 10 мм. Прихватки розміщуються на рівній відстані по колу труби. Залежно від марки сталі, з якої виготовлена труба, зварювання ви-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

конується без попереднього підігрівання (низьковуглецеві) або з ним (леговані). Якість зварних стикових з'єднань труб визначається якістю кореневого шва. Він має бути надійно провареним без будь-яких дефектів, для чого слід враховувати деякі рекомендації.



Мал. 17.10. **Центрувальні знімні пристрої для складання перед зварюванням стиків труб діаметром менше 100 мм:**
а – з гвинтовим притискачем; *б* – типу скоби (дає змогу зварювати стики без прихваток)



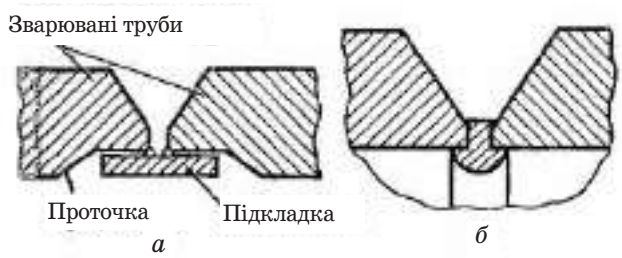
Мал. 17.11. **Пристрої для складання перед зварюванням стиків трубопроводів діаметром більше 100 мм:**
а – секторного типу; *б* – типу хомута; *в* – у вигляді стяжних кутиків, приварених до труб

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При ручному дуговому зварюванні кореня шва у висячому положенні покритими електродами потрібно використовувати електроди малого діаметра (2–3 мм). При аргонодуговому зварюванні слід захищати зворотний бік шва аргоном, а при напівавтоматичному зварюванні в CO_2 – використовувати дріт малого діаметра (0,8–1,2 мм).

Для автоматичного зварювання під флюсом у разі можливості треба застосовувати мідні, флюсомідні підкладки або підварювання кореня шва. Це можливо при зварюванні труб діаметром 700 мм і більше, а також коротких труб і секторних відгалужень.

Оскільки знімні підкладки придатні лише для зварювання труб великого діаметра, для формування внутрішнього зварного шва можна використовувати підкладки, що залишаються, але надійніше зварювати корінь шва за допомогою підкладних кілець, які розплавляються (мал. 17.12).



Мал. 17.12. **Схема складання стику труби на підкладці (*а*) і з використанням підкладного кільця, що розплавляється (*б*)**

Формування шва під час зварювання у висячому положенні здійснюється при застосуванні спеціального пристрою для подавання захисного газу – аргону (мал. 17.13).

Подача газу починається за 2–2,5 хв до початку зварювання, його витрата складає 4–6 л/хв. Якщо після зварювання неможливо видалити цей пристрій (наприклад, під час зварювання кінцевих стиків або стиків між арматурою), застосовують картонні заглушки, які при промиванні і продуванні будуть видалені.

Після зварювання кореня шва приступають до накладання заповнюючих розчищення швів, що може виконуватися як вручну, так і механізованими способами. При зварюванні вертикальних стиків труб висота кожного шару або валика має складати 4–6 мм, а ширина не більше 35 мм; при зварюванні горизонтальних стиків відповідно 3–6 мм і 6–15 мм.

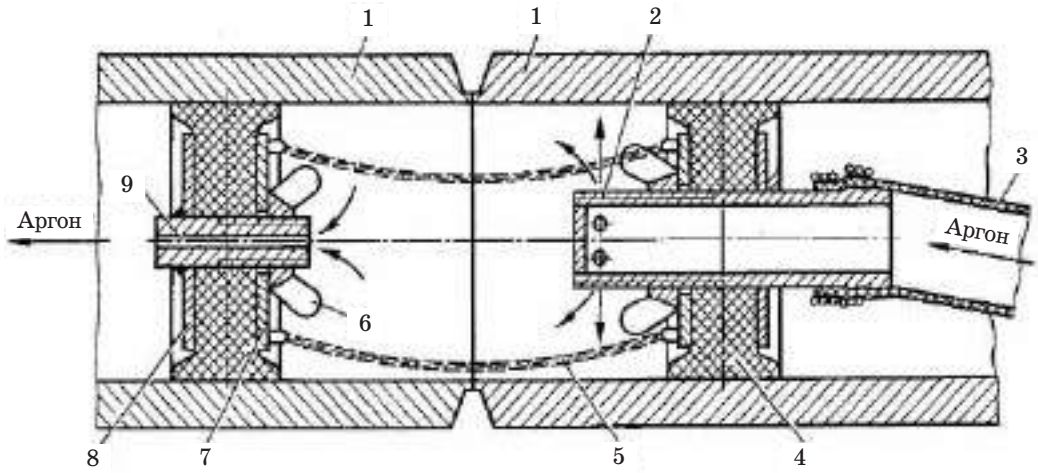
Вертикальні поворотні стики труб можуть бути зварені кількома способами.

За можливості обертання труби на 360° зварювання можна виконувати безперервно зліва або зворотноступінчастим швом справа (мал. 17.14, *а*).

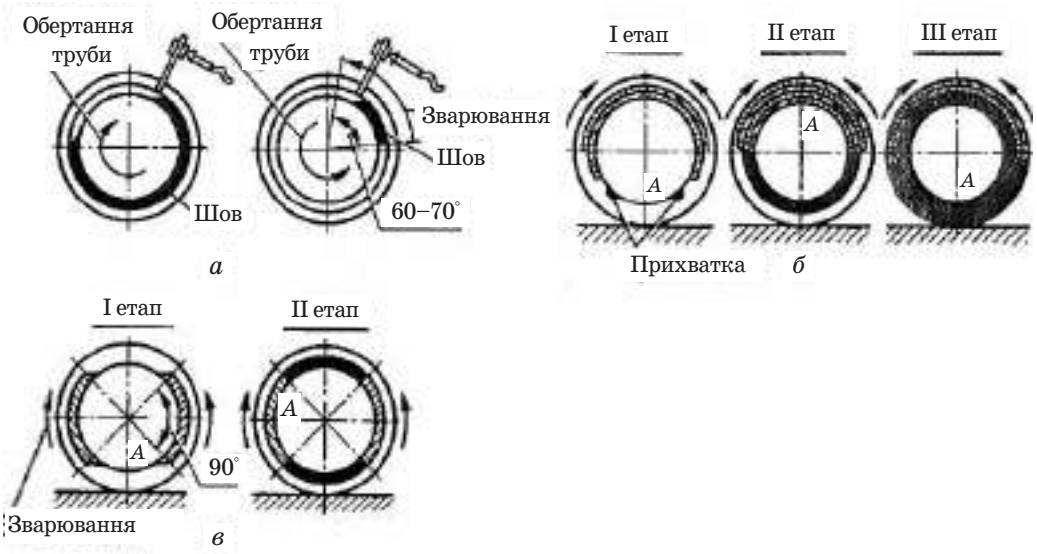
При куті обертання 180° зварюють у три етапи (мал. 17.14, *б*). На першому виконується прихватка і зварювання двох шарів з одного боку. На

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

другому етапі накладається чотири шари з протилежного боку стику. На третьому накладаються два шари останньої частини стику. При куті обертання 90° перший шар зварюють у два етапи (мал. 17.14, *в*). Виконання подальших шарів здійснюється з обертанням труб на 360° або на 180°.



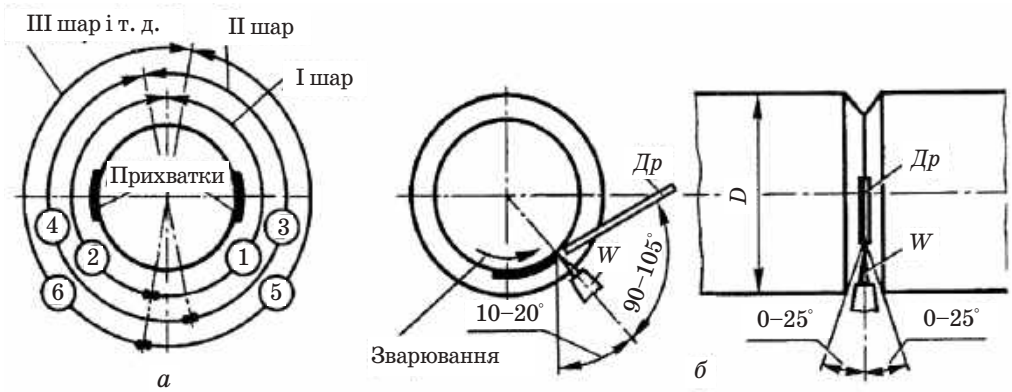
Мал. 17.13. **Пристрій для подавання аргону у внутрішню порожнину труби:** 1 – зварювальні труби; 2 – трубка для подавання аргону; 3 – шланг-рукав; 4 – гума; 5 – тросик; 6 – гайка-баранець; 7 – притискаючий диск; 8 – опорний диск; 9 – отвір діаметром 4–5 мм для виходу суміші повітря з аргоном



Мал. 17.14. **Послідовність зварювання поворотних вертикальних стиків труб вручну покритими електродами**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Зварювання неповоротних стиків складніше. Складені за допомогою знімних спеціальних пристроїв стики скріплюються прихватками. Для труб діаметром менше 100 мм з товщиною стінки менше 10 мм довжина прихватки становить 5–10 мм, висота 1,5–2 мм, кількість – 2. Прихватка і зварювання здійснюються вручну аргонодуговим способом короткою дугою при силі струму 70–130 А, напрузі на дузі 12–15 В і витраті аргону 6–8 л/хв без його піддуву всередину труби. Зварні шви виконуються зворотноступінчастим способом з урахуванням забезпечення рівномірного розподілу напружень і деформацій по периметру стику (мал. 17.15).



Мал. 17.15. **Послідовність виконання швів неповоротних стиків труб при ручному аргонодуговому зварюванні:**
а – послідовність і напрямок зварювання шарів; *б* – розміщення вольфрамового електрода (*W*) і присадного дроту (*Др*)

Краї усіх ділянок зварюваного шару потрібно перекривати на величину «замка» – 8–10 мм. Розміщення пальника і присадного дроту визначається положенням стику і товщиною зварюваних труб. Присадний дріт подається без поперечних коливань, а вольфрамовий електрод утворює невеликий кут і може коливатися з амплітудою до 2 мм для забезпечення провару і формування зварного шва. Витягнута зварювальна ванночка свідчить про якісне проплавлення, кругла чи овальна вказує на недостатнє проплавлення.

Технологія приварювання патрубків, фланців, штуцерів і деталей кріплення до труб передбачає використання матеріалів, режимів і техніки зварювання таких же, як і для стиків труб.

При зварюванні дискових і комірникових фланців, насаджених на трубу, виконують два кутових шви: внутрішній (лише для ущільнення) ущільнюючий, має катет 5–7 мм, накладається після першого. Першим зварюється зовнішній шов, його розміри і кількість валиків залежить від діаметра і товщини стінки труби.

Бобишки, штуцери, коліна з'єднуються з трубами також кутовими швами після розчищення або зовнішнім швом згідно з вимогами робочих креслень.

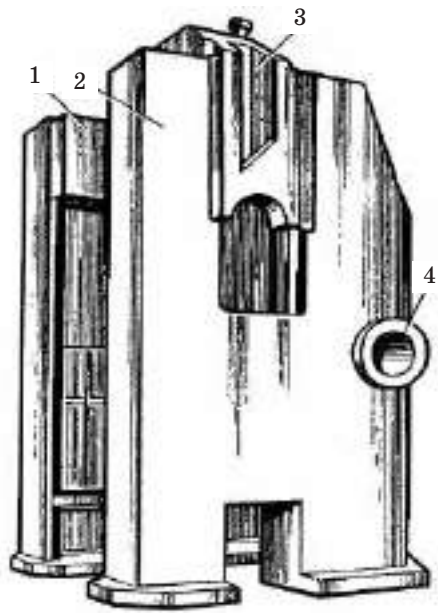
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

17.6. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

У машинобудуванні виготовлення зварних деталей машин (зубчастих коліс, корпусів, кожухів редукторів, рам і станин) економічно доцільне лише при одиничному, дрібносерійному виробництві та ремонтних роботах. У разі масового випуску методи відливання і кування ефективніші.

Вироби для важкого й енергетичного машинобудування (станини пресів, вали потужних турбін тощо) випускають дрібними серіями. Зварні вузли мають великі розміри, товщина елементів досягає 100 мм і більше. Виготовлення таких виробів у вигляді поковок і відливок іноді неможливе або недоцільне.

Основні елементи 1 і 2 станини (мал. 17.16) виготовлені з товстолистового прокату, масивна траверса 3 і труба 4 виконані у вигляді сталевої відливки і поковки відповідно.



Мал. 17.16. **Зварна станина преса, розрахованого на зусилля 40 000 кН**

Зварні з'єднання в них – стикові, таврові й кутові. Для більшості з них застосовано електрошлакове зварювання, що визначає деякі особливості конструкції і послідовності складально-зварювальних операцій.

Кутові й таврові з'єднання складають за допомогою косинок і діафрагм, стикові – за допомогою скоб. У місцях, недоступних для розміщення формуючих мідних повзунів, використовують сталеві пластини, що залишаються. Послідовність виконання всіх операцій має бути такою, щоб кінці кожного зі швів, виконаних електрошлаковим зварюванням,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

можна було вивести за межі тіла деталі. Тому перед загальним складанням складної деталі складають і зварюють відносно прості вузли.

З метою зменшення кутових зварювальних деформацій вузли проектують так, щоб кожний з них після складання для зварювання мав замкнутий переріз. Завершальними операціями є післязварювальна термічна обробка – високий відпуск і нормалізація. Точність розмірів станин і рам забезпечується механічною обробкою. Таким чином виготовляються вали, колеса і лопаті гідротурбіни тощо.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які види заготівельних робіт застосовуються в сучасному виробництві?
2. Яка технологія виготовлення зварних балок?
3. Як зварюють стики у монтажних умовах?
4. З яких профілів виготовляють ферми і як їх складають та зварюють?
5. Які переваги має виготовлення листових конструкцій методом рулонування?
6. Як зварюють листові резервуарні конструкції у монтажних умовах?
7. Які особливості технології складання і зварювання технологічних трубопроводів?
8. Як забезпечити надійний провар кореня шва при зварюванні трубопроводів?
9. У чому полягає різниця зварювання поворотних і неповоротних стиків труб?
10. За яких умов деталі машин і механізмів доцільно виготовляти зварними?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 18

ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ (2)

18.1. ТОЧКОВЕ І РЕЛЬЄФНЕ ЗВАРЮВАННЯ (21)

Здійснити усі способи контактного зварювання дають змогу генерування тепла Джоуля під час проходження електричного струму між електродами зварювальної машини в металі деталей, на контактних опорах «електрод-деталь» і «деталь-деталь», а також пластичне деформування нагрітого металу. Нагрівання і деформування забезпечують зближення контактуючих поверхонь деталей на відстань, достатню для виникнення нерозривних міжатомних металевих зв'язків.

При точковому зварюванні (мал. 18.1) деталі, які складаються з напусткою або з відбортовкою, з'єднуються на окремих ділянках, обмежених контактною площею електродів, що підводять струм і передають зусилля стискання P. Звичайно для зварювання використовують короткочасний (0,01–0,5 с) струм великої сили (до десятків кілоампер) при незначній напрузі (3–12 В).

Тепловий ефект при точковому зварюванні залежить від сили зварювального струму, його тривалості, зусиль на електродах, форми і розмірів робочої частини електродів, контактних опорів (двох «електрод-деталь» та одного «деталь-деталь»), питомих опорів металу деталей і електродів тощо.

Ефективна теплова потужність процесу визначається за формулою

$$Q_{\text{еф}} = I^2 R_{\text{п}},$$

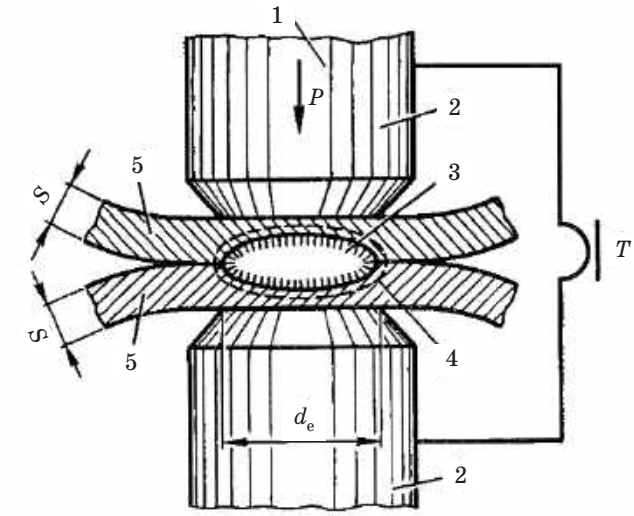
де I – сила зварювального струму, А; $R_{\text{п}}$ – повний електричний опір, Ом; $R_{\text{п}} = 2R_{\text{к.е.д}} + R_{\text{к.д.д}} + 2R_{\text{д}}$; $R_{\text{к.е.д}}$ – контактний опір на границі «електрод–деталь»; $R_{\text{к.д.д}}$ – контактний опір на границі «деталь–деталь»; $R_{\text{д}}$ – опір проходженню струму через деталь.

При ввімкненні зварювального струму величини контактних опорів $R_{\text{к.е.д.}}$ і $R_{\text{к.д.д.}}$ дуже великі, тому що струм проходить не по всій площі контакту, а в окремих точках шорстких поверхонь. На початковій стадії процесу виділяється велика кількість тепла в цих контактах, внаслідок чого окремі точки під дією зварного зусилля P миттєво зминаються, контакт стає повним по всій площині стискання, а величина контактного опору стрімко наближається до нуля. Після цього суттєвим стає лише електричний опір проходженню струму через зварювані деталі. У разі однакових товщин (мал. 18.1)

$$R_{\text{д}} = \rho 2S/F,$$

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

де ρ – питомий електричний опір (залежить від природи металу і температури нагрівання в процесі зварювання, Ом · м); S – товщина деталі, см; $F = \pi d_e^2/4$ – площа робочої частини електрода, см^2; d_e – діаметр робочої частини електрода, см.



Мал. 18.1. **Схема точкового зварювання з двостороннім підведенням електричного струму:**
1 – лінії зварювального струму; 2 – електроди; 3 – зварна точка; 4 – ущільнювальний поясок; 5 – деталі, що зварюються;
P – зусилля; T – трансформатор; S – товщина деталі; d_e – діаметр робочої частини електрода

Отже, в момент вмикання зварювального струму метал у контактах «електрод-деталь» і «деталь-деталь» розігрівається і деформується. З підвищенням температури та питомого опору металу, що перебуває безпосередньо поряд з контактом «деталь-деталь», тепло виділяється, головним чином, завдяки підігріванню деталей. Струм пропускається, поки рідкий метал не набуде належного об'єму.

Оксиди та залишки бруду на поверхні деталей руйнуються, під час розплавлення подрібнюються та розміщуються у рідкому металі під дією електродинамічних сил. Металеві зв'язки формуються у розплавленій фазі.

У процесі розплавлення навколо ядра утворюється ущільнювальний поясок внаслідок витікання нагрітого пластичного металу з-під електродів у зазор між деталями.

Поясок утримує рідкий метал від випліскування, а також запобігає взаємодії його з газами повітря. У зоні ущільненого пояска деталі можуть зварюватись без розплавлення – у твердій фазі.

Метал точок зварювання звичайно має дендритну структуру. Під час охолодження та кристалізації їх об'єм зменшується і виникають залиш-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

кові напруження. Для зменшення напружень та для попередження утворення тріщин і усадкових раковин зварні з'єднання проковуються з додатковим зусиллям на електродах після вимикання зварювального струму.

Навколо точки є зона термічного впливу, в якій у процесі зварювання суттєво змінюються початкова структура та властивості металу деталей, що з'єднуються.

Для зменшення температури нагрівання електродів та запобігання перегріванню і підплавленню металу в контакті «електрод-деталь» електроди виготовляють з мідних сплавів з високою тепло- й електропровідністю, а також охолоджують проточною водою.

У зв'язку зі специфічними умовами експлуатації електродів (високі температурні та силові навантаження, що мають циклічний характер у контактах електрод-деталь, динамічне прикладання зусилля до електродів, хімічна взаємодія металу електродів з металом виробу і т. д.) матеріали для їх виготовлення повинні мати достатні тепло- та електропровідність, жароміцність, гарячу твердість, а також незначну схильність до хімічної взаємодії (масопереносу). Цим вимогам значною мірою відповідають сплави на основі міді.

Умовно електродні сплави поділяються на три групи. Сплави першої групи мають середні значення твердості та електропровідності: хромова бронза БрХ містить 0,7 % Cr, решта Cu; хромокадмієва бронза БрХКд (МЦ-5Б) – 0,35 % Cr, 0,25 % Cd, решта Cu. Використовуються при зварюванні маловуглецевих та конструкційних сталей.

До другої групи належать сплави з більш високими твердістю і жароміцністю: хромоцирконієва бронза БрХЦр – 0,6–0,05 (0,6 % Cr, 0,1 % Zr, решта Cu); нікелекремнієва бронза МЦ – 2 (1,6 % Ni, 0,5 % Si, 0,25 % Mg, решта Cu). Застосовують для зварювання нержавіючих сталей та жароміцних сплавів.

Третя група – сплави з підвищеною електропровідністю: кадмієва бронза БрКд1 (МК) – 1,1 % Cd, решта Cu; нікелеберилієва бронза БрНБТ – 1,5 % Ni, 0,3 % Be, 0,07 % Ti, решта Cu. Призначені для зварювання легких сплавів із високими показниками тепло- й електропровідності.

Придатність електродних сплавів для зварювання певних металів оцінюють за показником їх зносостійкості. Цей показник визначають за кількістю точок, що були зварені до 20 %-го збільшення діаметра робочої поверхні електрода (за кількістю задовільно зварених точок до перезаточування електродів, за зменшенням «гарячої» або «холодної» твердості, за втратами маси, довжини або об'єму електрода після виконання певної кількості точок, що зварюють, до чергового зачищення поверхні електрода або за кількістю зварених точок на 1 мм зносу робочої частини електрода тощо).

Так, при зварюванні металу завтовшки 1,5+1,5 мм зі сталей 08 КП, 12Х18Н10Т і оцинкованої сталі довговічність електродів, виготовлених із бронзи БрНБТ, становить відповідно 3000–5000, 5000–7000 і 1000–2000 то-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

чок, а при зварюванні легких сплавів АМг6 і МА2-1 стійкість електродів із бронзи БрКд1 становить 1000–2000 точок.

У промисловості найбільше поширення має точкове зварювання з підведенням струму з обох боків деталей – одноточкове зварювання.

У важкодоступних місцях або за необхідності підвищення продуктивності праці використовується схема з підведенням струму до деталей з одного боку від одного або декількох трансформаторів. Це дво- чи багатоточкове зварювання. Для підвищення щільності струму в зоні зварювання при однобічному підведенні струму деталі розміщують на мідних струмонесучих підкладках.

Точковим зварюванням з'єднують листові або профільні деталі (елементи) конструкцій, що виготовляють із різноманітних сталей і сплавів, а також вироби з арматурних стрижнів.

Типовий технологічний процес виготовлення зварних вузлів та виробів точковим зварюванням складається з таких операцій: виготовлення деталей-заготовок, підготовка їх поверхонь до зварювання, складання, прихоплення, зварювання, виправлення, механічна обробка та антикорозійний захист.

Деталі-заготовки вирізають із листового металу дисковими, гільйотинними або вібраційними ножицями, за допомогою штампів, плазмовим струменем або газовим полум'ям.

Стрижні арматури ріжуть звичайно за допомогою механічних верстатів або газовим полум'ям; профільний метал – пилами або прес-ножицями.

Перед зварюванням поверхні деталі до 30–50 мм від місця зварювання з обох боків зачищають металевими щітками. Для зачистки застосовують також дробоструминні, піскоструминні установки й апарати для галтування.

Очистка місць зварювання може виконуватись хімічними способами. Протирають різними розчинами, або промивають у ваннах із розчинами певного складу, або протравлюють у розчинах лугів, кислот зі спеціальними домішками, що регулюють швидкість травлення.

Вуглецеві сталі перед зварюванням протравлюють у розчині 200 г H_2SO_4, 10 г HCl і 10 г HNO_3, 1 г регулятора травлення КС в 1 л води при температурі 50–60°С. Після цього вони обробляються спеціальним розчином для нейтралізації, що містить 10–20 г NOH або КОН у 1 л води. Температура нейтралізації 20–25°С.

Нержавіючі сталі, жаростійкі і нікелеві сплави обробляють розчином 110 г H_2SO_4, 130 г HCl і 10 г HNO_3 у 0,74 л води при температурі 50–70°С. Для нейтралізації застосовують 10 %-ний розчин Na_2CO_3. Температура як і в попередньому випадку 20–25°С.

Алюмінієві сплави обробляють у розчині 110–155 г H_3PO_4, 0,8–1,5 г $K_2Cr_2O_7$, у 1 л води при температурі 30–50°С. Для подальшої нейтралізації використовують розчин 15–25 г HNO_3 в 1 л води при температурі 20–25°С.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Невеликі деталі з корозійностійких металів та сплавів іноді піддають електролітичному травленню або поліруванню.

Після хімічного травлення або полірування часто виконується нейтралізація – освітлення поверхонь деталей. Між операціями хімічної обробки деталі промивають у воді та просушують гарячим стиснутим повітрям.

Деталі кузовів автомобілів, виготовлені із холоднокатаних низьковуглецевих сталей, зварюють без будь-якої попередньої обробки. Встановлено, що тонкий шар масла суттєво не впливає на якість точкових з'єднань.

Якість підготовки контролюють візуально згідно з еталонними зразками або вимірюванням величини електричного опору двох стиснутих деталей мікроомметрами типу Ф-415 або іншими приладами. Слід мати на увазі, що реальні величини опорів між електродами при зварюванні постійно змінюються і суттєво відрізняються від виміряних на холодних деталях. Це пов'язано з особливостями формування електричних контактів – зі збільшенням площі контактів «деталь-деталь» та «електрод-деталь» внаслідок руйнування поверхневих оксидних плівок та деформуванням мікро- і макрооб'ємів металу деталей.

Складання елементів металевих конструкцій перед контактним зварюванням має забезпечувати розміри, розташування елементів один відносно одного, технологічні зазори, зазначені на складальному кресленні.

Так, зі збільшенням товщини зварюваних деталей з 1 до 3 мм допустимий технологічний зазор, наприклад, на довжині 100 мм, зменшується з 0,5 до 0,3 мм, а на довжині 300 мм – з 1,5 до 0,9 мм. Зазори, які допускаються при складанні деталей перед шовним зварюванням, мають бути в 2–3 рази меншими.

Складання металевих конструкцій виконують за розміткою за допомогою шаблонів або складальних отворів, за упорами у спеціалізованих пристроях або кондукторах.

Інколи після операції складання розмічають місця прихвачування та зварювання. Розмітку здійснюють олівцем, крейдою за допомогою шаблонів або універсального вимірювального інструменту. Найефективнішими є спеціальні оптичні або механічні розмітники.

Прихватку використовують з метою точного фіксування деталей, підвищення жорсткості конструкцій, запобігання пересуванню деталей, зменшення зазорів, а також для зменшення залишкових деформацій.

Прихвачування виконують точковим зварюванням на стаціонарних або підвісних машинах, іноді дуговим зварюванням із наступним вирубуванням прихваток.

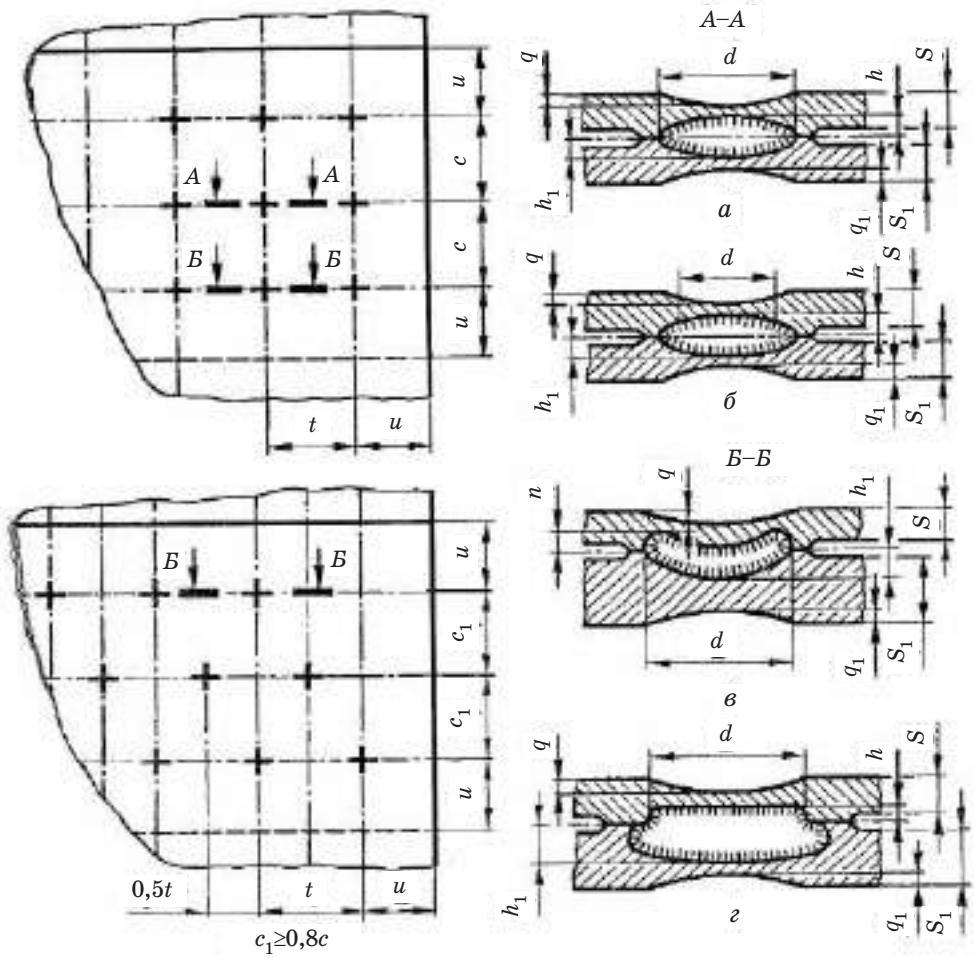
Відстань між прихватками (крок) становить 100–300 мм. Вона залежить від марки сталі або сплаву, товщини деталей, зазорів між ними, жорсткості вузлів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Режими прихвачування на контактних машинах такі ж, як і точкового зварювання.

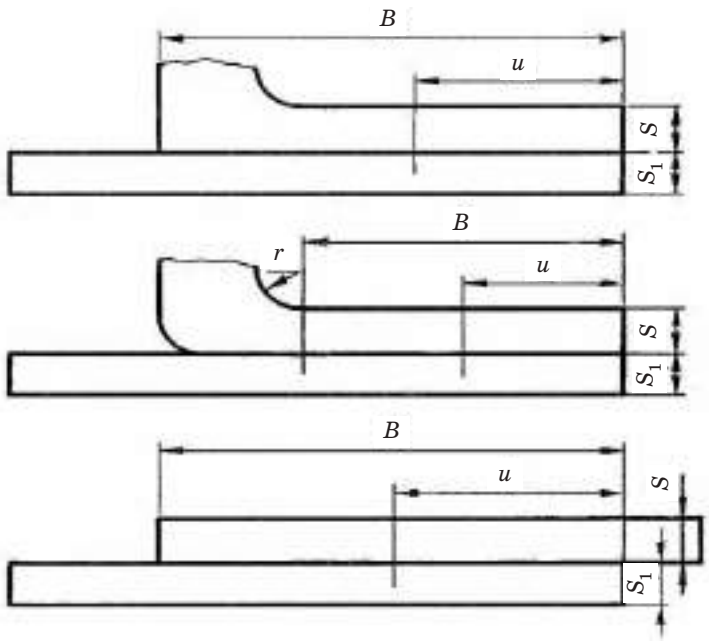
Точковим зварюванням з'єднуються листові конструкції однакової або різної товщини, арматурні конструкції закладних деталей і вузлів із дроту, стрижнів для будівництва та ін.

Розміри зварних точкових з'єднань із листового металу і мають бути такими, щоб забезпечувався потрібний рівень міцності зварних конструкцій (мал. 18.2, 18.3).



Мал. 18.2. **Точкові з'єднання:**
а – неплакованих металів; *б* – плакованих металів; *в* – деталей різної товщини; *г* – деталей з різних металів (*б* – діаметр точки; *g* і g_1 – глибини вм'ятин; *h* і h_1, – глибини проплавлення деталей; *S* і S_1 – товщини деталей; *u* – відстань від центру точки до краю напустки; *c* і c_1 – відстані між осями сусідніх рядів точок, що розташовані у шаховому порядку; *t* – відстань між центрами сусідніх точок у ряду)

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 18.3. **Види напусток при контактному зварюванні:**
B – напустка; S і S_1 – товщина деталей; r – радіус округлення

Величину напустки B для багаторядних швів розраховують залежно від розташування точок. При ланцюговому розташуванні $B = 2u + c(к - 1)$, при шаховому розташуванні $B = 2u + c_1(к - 1)$, де к – кількість рядів точок.

Відстань від краю напустки до центру точки або осі шва u має бути не меншою половини мінімальної величини напустки.

Глибини проплавлення h і h_1 для магнієвих сплавів мають бути $(0,2–0,7)S$ титанових сплавів – $(0,2–0,95)S$, для інших металів та сплавів – $(0,2–0,8)S$. Глибини вм'ятин на поверхні деталей після зварювання g, g_l не допускаються більші за $0,2S$. При співвідношенні товщин деталей $S/S_1 > 2$, коли використовують один із електродів з підвищеною площею робочої поверхні або зварювання відбувається у важкодоступних місцях, глибина вм'ятин може досягати $0,3S$.

Конструкції вузлів, що виготовляються точковим зварюванням, мають передбачати вільний доступ електродів зварювальної машини до зони зварювання. Найбільш технологічними в цьому відношенні є вузли відкритого та напіввідкритого типу, які зварюються прямими, фігурними або нахиленими електродами.

Якщо розміри виробів є не меншими від певного мінімального значення, вузли закритого типу зварюються без труднощів.

Основними параметрами режиму точкового зварювання є зварювальний струм (амплітудний або діюче його значення), тривалість проходження

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

струму, зусилля стиснення деталей електродами до зварювання, під час та після зварювання (проковки), діаметр робочої поверхні електрода (d_e) або радіус сферичної поверхні електрода (певного діаметра).

Електроди зі сферичною поверхнею використовують для зварювання пластичних металів і сплавів; металів, що схильні до масопереносу та виникнення кристалізаційних тріщин; для забезпечення мінімальних за розмірами вм'ятин, запобігання виплесків; при однобічному підведенні струму до деталей; при зварюванні деталей різної товщини або різного хімічного складу тощо. Електродам із плоскою робочою поверхнею віддають перевагу під час зварювання металів і сплавів із підвищеною жароміцністю, на машинах із вертикальним переміщенням електродів, при особливих вимогах до якості з'єднань (при можливій наявності вм'ятин, зазорів певної величини, виплесків тощо).

З метою запобігання випліскування (початкового або кінцевого) використовують модуляцію (відповідно до переднього або заднього фронту) зварювального струму. Для зменшення нагрівання і підвищення довговічності електродів іноді застосовують пульсуючий зварювальний струм.

Вихідними даними щодо визначення перерахованих вище параметрів є фізико-механічні властивості металу і товщина деталей, що зварюються.

Зі зменшенням товщини деталей щільність зварювального струму підвищується. Матеріали з низьким питомим опором потребують більшого струму, ніж матеріали з високим питомим опором.

При високій теплопровідності та температуропровідності металу зварювання ведуть на більш жорстких режимах, тобто зменшують час проходження та збільшують силу зварювального струму.

Зусилля тиску електродів також залежить від товщини зварюваних деталей і механічних властивостей металу, який зварюється. З підвищенням коефіцієнта лінійного розширення та опору пластичній деформації треба збільшувати тиск на електродах та встановлювати більш м'які режими.

Розмір та якість зварних точок залежать також від форми і величини контактної робочої поверхні електродів. Форма робочої поверхні звичайно відповідає конфігурації зовнішньої поверхні деталей. Для листових, плоских і не дуже зігнутих деталей застосовують електроди з циліндричною (плоскою) або сферичною формою робочої поверхні.

На практиці найчастіше для визначення режиму зварювання використовують спеціальні таблиці. Наприклад, режим зварювання виробів із низьковуглецевих сталей може бути як м'яким, так і жорстким при обмежених зусиллях на електродах.

Зварне з'єднання з низьковуглецевої сталі завтовшки 1 + 1 мм можна одержати і на жорсткому режимі (сила струму 10,5 кА, тривалість його протікання 0,12 с), і на м'якому (сила струму 7,5 кА впродовж 0,4 с).

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Звичайно використовують циклограму з постійним зусиллям і одним імпульсом зварювального струму. Якщо товщина деталей більша ніж 2 мм, зварюють за циклограмою з попереднім обтискуванням деталей, а також з їх куванням із зусиллями підвищеної величини. Маловуглецеві гарячекатані сталі з товщиною більше 4 мм потребують використання м'яких режимів із відносно низькою щільністю струму. Для зварювання цих товщин потрібно підвищувати зусилля зварювання та кування, а також тривалість проходження струму.

Якщо зварюють деталі різної товщини, робочі параметри режиму вибирають за найтоншою з них.

Зварювання різнотовщинних деталей при співвідношенні товщин понад 1:3 ускладнене через ненадійність проплавлення тоншої деталі. Щоб запобігти цьому, рекомендується з боку тонкої деталі використовувати електроди з меншим перерізом або виготовляти ці електроди з металу з меншою теплопровідністю, ніж з боку товстої деталі. Часто для підвищення тепловиділення в контакті «деталь-деталь» на поверхні однієї з деталей виготовляють технологічний виступ-рельєф або встановлюють між електродом і тонкою деталлю змінний тепловий екран із металу з меншою теплопровідністю у вигляді стрічки завтовшки 0,15–0,3 мм. Екран акумулює тепло в тонкій деталі, а інколи і сам є додатковим джерелом теплоти.

Комбінуючи склад та товщину стрічки-екрана, можна досягти стійкого проплавлення. Дуже ефективним є також спосіб зварювання листових конструкцій з додатковим кільцевим обтисненням тонкої деталі навколо точки. Цей спосіб забезпечує глибину проплавлення тонкої деталі на 30–70 %.

При зварюванні деталей із різноманітних матеріалів через неоднакове виділення та відведення тепла діаметр ядра та глибина проплавлення збільшуються в деталях із високим питомим опором та меншим коефіцієнтом теплопровідності.

При з'єднанні деталей із різнорідних металів точковим зварюванням імпульсами уніполярного струму (постійного або струму розрядження конденсаторів) слід ураховувати ефект Пельтьє. Цей ефект проявляється у виділенні додаткової кількості тепла або поглинанні тепла із загального у контакті «деталь-деталь». Якщо електрони зварювального струму спрямовані з металу з відносно підвищеною енергією власних електронів у метал із відносно меншою енергією власних електронів, то загальна кількість тепла збільшується на величину тепла Пельтьє. Якщо електрони прямують у протилежному напрямку, то загальне тепло між деталями зменшується на величину тепла Пельтьє.

Для запобігання виникненню непроварів та істотного викривлення форми литої зони внаслідок ефекту Пельтьє під час точкового зварювання, наприклад, нержавіючої сталі з низьковуглецевою, потрібно, щоб негативний полюс джерела живлення постійно знаходився з боку нержавіючої сталі.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Способи зварювання різних матеріалів, що утворюють між собою під час розплавлення ряд твердих розчинів, які забезпечують необхідне проплавлення одночасно обох деталей, не відрізняються від способів, використовуваних при зварюванні різнотовщинних деталей.

Коли при сплавленні різних металів утворюються крихкі фази з несприятливими властивостями (механічні суміші або хімічні сполуки типу інтер-металідів), наприклад, при зварюванні титану зі сталлю, зварюють через проміжну металеву вставку або з керованим внутрішнім випліскуванням.

Як проміжну вставку можна використовувати біметалеві пластини, наплавлені або напилені шари металів, які не утворюють інтерметалідів із металами зварюваних деталей.

Зварювання з керованим внутрішнім випліскуванням здійснюють так: деталі стискають електродами та нагрівають до плавлення електричним струмом.

Робоча частина електродів з боку металу з більшою пластичністю або з меншою товщиною повинна мати форму конуса зі сферичною робочою поверхнею, а з протилежного боку – циліндричну з плоскою робочою поверхнею.

Для запобігання початковому внутрішньому випліскуванню передній фронт зварювального імпульсу модулюється. Після внутрішнього випліскування деталі проковуються з підвищеним зусиллям для остаточного витискування рідкого металу та механічного дроблення інтерметалідного прошарку завтовшки 2–4 мкм. Недоліками цього способу є надмірне розкриття зазору між деталями та велика вм'ятина на одній із деталей.

Одностороннє зварювання застосовується для з'єднання деталей різної товщини, для підвищення продуктивності праці, а також коли неможливе зварювання з двостороннім підведенням струму.

Особливості зварювання низьковуглецевих сталей з антикорозійними покриттями зумовлені властивостями та товщиною покриттів. Легкоплавкі шари з цинку, свинцю, кадмію та інші передчасно розплавляються в контакті між деталями і підплавляються в контакті «електрод-деталь», знижуючи щільність зварювального струму. Тому для зварювання сталей з легкоплавкими покриттями використовують більш жорсткі імпульси зварювального струму порівняно зі зварюванням сталей без покриття при підвищених зусиллях на електродах (на 20–25 %). Електроди в цьому випадку використовують із робочою поверхнею у вигляді зрізаного конуса з кутом заточки 120–140°. Якщо важко забезпечити перпендикулярність електрода до зварювальної поверхні, застосовують електроди зі сферичною заточкою (радіус сфери 75 мм).

Необхідно також забезпечувати інтенсивне охолодження електродів при витраті води не менше 1 л/хв. Якість поверхні і стійкість електродів

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

підвищуються, якщо в контакт «електрод-деталь» вводиться спеціальне мастило або паста, які зменшують хімічну взаємодію з покриттям. Позитивні результати одержують при використанні мастил на основі води (поліетиленоксид – 1,0–1,5 %, нітрид натрію – 4–6 %, вода – решта до 100 %; або поліакриламід – 1,0–1,5 %, нітрид натрію – 8–10 %, графіт – 4–6 %, вода – до 100 %).

При зварюванні сталей з більш тугоплавкими покриттями (хромовим або нікелевим) рекомендують збільшувати тривалість зварювання. Силу зварювального струму вибирають як для жорстких режимів зварювання сталей без покриття.

Внаслідок схильності до кристалізаційних тріщин і загартовування середньовуглецеві та низьколеговані сталі потрібно повільніше нагрівати з тривалістю протікання зварювального струму в 4–5 разів більшою, ніж низьковуглецеві сталі. При зварюванні бажані попереднє підігрівання, плавне зростання сили зварювального струму або уповільнене охолодження.

Режими зварювання з додатковим імпульсом струму, призначеного для термічної обробки, забезпечують високу міцність і достатню пластичність з'єднання.

Пауза між зварювальним імпульсом та імпульсом термічної обробки має бути достатньою, щоб запобігти утворенню тріщин. Для того, щоб усунути внутрішнє випліскування, зварювання загартованих сталей виконують при плавному зростанні (модулюванні) струму.

Високолеговані корозійностійкі конструкційні сталі аустенітного класу типу 12Х18Н10Т зварюються на відносно жорстких режимах.

Зварювання корозійностійких сталей типу ОХ17Г9АН4 здійснюється при збільшених зусиллях зварювання, а високолеговані сталі типу 10Х17Н2 та 10Х13, що схильні до підгартування, зварюються з додатковим імпульсом струму.

Титанові сплави, що мають низьку теплопровідність, зварюються на більш м'яких режимах.

Оскільки тепло- і електропровідність алюмінію та його сплавів висока, то зварюються вони особливо жорсткими зварювальними імпульсами на потужних однофазних, конденсаторних і низькочастотних машинах, а також на машинах з випрямленим струмом у вторинному контурі. Для зварювання використовуються електроди зі сферичною робочою поверхнею:

Товщина металу, мм	1	2	3
Радіус сфери електрода, мм	75	100	150

Зварювання алюмінієвих сплавів товщиною більш як 1,0–1,5 мм виконується з використанням циклограми з підвищеним зусиллям кування.

Зварювання міді та її сплавів потребує особливо жорстких режимів, використання теплових екранів із нержавіючої сталі (завтовшки 0,25–

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

0,35 мм) між електродами та деталями або використання металокерамічних електродів (вставок) із молібденом або вольфрамом для зменшення «стікання» тепла в самі електроди.

Мідні сплави (бронза та латунь) з підвищеним електроопором зварюють струмами на 25–30 % при потужності на 50 % більшими порівняно з аналогічними параметрами зварювання низьковуглецевих сталей.

Для підвищення статичної, циклічної міцності та корозійної стійкості зварних точкових з'єднань використовують клеї, ґрунти та пасти. При виборі марки клею слід враховувати такі його властивості, як рідкоплинність та здатність добре заповнювати зазори під напусткою зварювального з'єднання; можливість твердіти при мінімальному (контактному) тиску та невисокій температурі, при цьому добре видавлюватися із зони зварювального контакту; можливість якісного зварювання по сирому клею під час повного циклу виготовлення вузла без витікання та полімеризації.

Останнім часом з метою поліпшення санітарних умов експлуатації зварних конструкцій використовують шумопоглинальні матеріали (ШПМ), з яких виготовляють вузли автомобілів, літаків, тракторів тощо.

Головним методом з'єднання деталей із ШПМ є точкове зварювання. Шумопоглинальні матеріали отримують склеюванням двох металевих стрічок полімерною плівкою, розташованою між ними, у процесі прокатки.

З'єднання деталей із ШПМ за загальноприйнятими схемами контактного точкового зварювання неможливе, тому що шумоізоляційна плівка є ізолятором для зварювального струму. Якщо технічні умови виготовлення деталей із ШПМ забезпечують локальне механічне руйнування суцільності деталей у місцях наступного зварювання, наприклад, керном, використовують традиційні схеми точкового зварювання. Коли це неможливо, намагаються якимось чином під час зварювання зруйнувати полімерну плівку.

Для стоншування й руйнування ізоляційних плівок використовують точкове зварювання (з підведенням струму з обох або з одного боку деталей). У зоні зварювання під час підігрівання деталі деформуються зусиллям обтиснення. Струм підігрівання проходить крізь метал стрічок, що контактують з електродами. На початку зварювання цей струм забезпечує виділення достатньої для руйнування плівки кількості тепла.

Після руйнування синтетичної плівки між електродами крізь деталі пропускають зварювальний струм $I_{зв}$ до виникнення литої точки потрібної форми та розмірів. Ущільнюють метал точкового з'єднання після вимикання зварювального струму зусиллям кування на електродах.

Мікрозварювання (з'єднання деталей завтовшки до 0,5 + 0,5 мм) виконується на особливо жорстких параметрах режиму зварювання переважно за допомогою конденсаторних машин або машин постійного струму. Особлива жорсткість зварювальних імпульсів при обмежених зусиллях

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

на електродах є причиною випліскування, масопереносу, а також значних коливань міцнісних характеристик з'єднань.

Стабільність показників мікрозварювання досягається підвищенням вимог до попередньої підготовки поверхонь електродів і деталей, забезпеченням співвісності електродів та використанням машин з особливо жорсткими хоботами вторинних контурів і безінерційними приводами стискання.

Деформації та внутрішні напруги зменшують підвищенням зусилля на електродах після вимикання струму (зусилля кування), використанням зварювальних імпульсів підвищеної жорсткості, встановленням оптимальної послідовності виконання зварювання, яку звичайно визначають експериментально, а також обтисканням з'єднання після зварювання сталевими пуансонами (роликами) або термічною обробкою виробу.

Після правки на поверхні зварних конструкцій, коли цього потребують умови експлуатації, наносять лакові або лакофарбові покриття, що підвищує поверхневу корозійну стійкість виробу. Для запобігання електрохімічній щільовій корозії зазори в напускних з'єднаннях герметизують ґрунтами, пастами, клеями або фарбами.

Рельєфне зварювання (23) є різновидом точкового зварювання, під час якого початковий контакт між деталями відбувається по площині завчасно підготовлених технологічних виступів-рельєфів та поверхні однієї з деталей (мал. 18.4).

Звичайно рельєфи виготовляють у вигляді трапеції, півсфери або зрізаного конуса на деталях з більшою товщиною або виготовлених із міцнішого металу.

Процеси формування з'єднань під час рельєфного і точкового зварювання багато в чому схожі. Але при рельєфному зварюванні контакт між деталями визначається не формою робочої поверхні електродів, як при точковому зварюванні, а формою поверхні рельєфів у місці з'єднання.

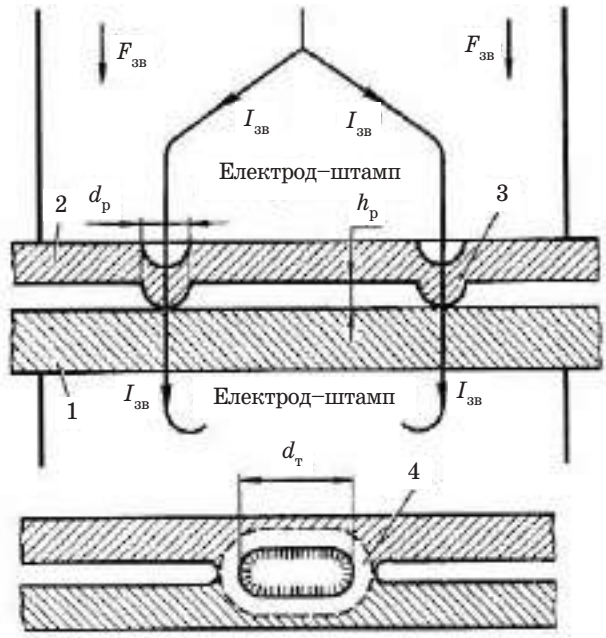
Наявність на початку процесу обмеженої площі у контакті між деталями 1, 2 (мал. 18.4) після стискання електродами (штампами) і вмикання струму дає можливість концентрувати тепловиділення в місці контакту при значній щільності струму. Рельєфи при цьому осідають внаслідок радіально спрямованої пластичної деформації.

Одночасно відбувається очищення твердих поверхонь від оксидів та зварювання у твердій фазі. Далі тепло генерується у нагрітому приконтактному металі деталей, поки виникне зона двостороннього розплавлення потрібного розміру.

Одночасно з виникненням та збільшенням зони розплавлення навколо неї з'являється ущільнювальний поясок, який має таке ж значення, як і при точковому зварюванні.

З'єднання при рельєфному зварюванні можуть формуватись як у твердій, так і рідкій фазі. З'єднання з литою структурою точки міцніші і мають більшу стабільність показників механічних властивостей.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 18.4. **Схема рельєфного зварювання:**
1, 2 – деталі, що зварюються; 3 – рельєф; 4 – ущільнювальний поясок; $d_т$ – діаметр точки; $F_{зв}$, $I_{зв}$ – зусилля та струм зварювання; $d_р$, $h_р$ – діаметр та висота рельєфу

Застосування рельєфного зварювання дає можливість отримувати з'єднання одночасно у декількох точках або неперервні герметичні шви замкнутої форми, збільшити продуктивність технологічного процесу, зменшити розмір напусток та масу самої конструкції, підвищити стійкість електродів та відмінити операцію розмітки.

Рельєфним зварюванням з'єднуються листові та арматурні конструкції в одній або декількох точках та різнотовщинні деталі, які виготовляються з різних сталей та сплавів.

Іноді рельєфне зварювання використовують спеціально для з'єднання деталей з гарячекатаного металу, який очищено від окалини.

Рельєфи на поверхні деталей виштамповують за допомогою пресів, інколи – кернерів. Підготовка поверхонь деталей перед рельєфним зварюванням та їх складання проводиться так, як і перед точковим зварюванням.

Сферичні рельєфи на листових заготовках мають діаметр (мал. 18.4) $d_р = 2S + 0{,}75$ мм та висоту $h_р = 0{,}45S + 0{,}25$ мм (S – товщина листа, мм). Рельєфи виготовляються з допуском на висоту ±0,05 мм, на діаметр ±0,1 мм (при $S < 1{,}25$ мм) та ±0,12 і ±0,35 відповідно для металу з товщиною $S > 1{,}25$ мм.

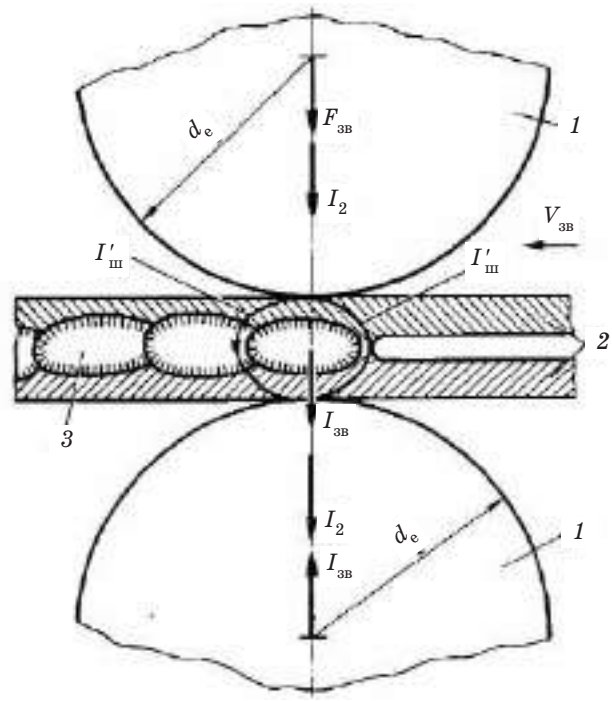
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Параметри режиму рельєфного зварювання такі ж, як і при точковому зварюванні. Силу зварювального струму визначають відповідно до величини щільності струму, яка зменшується зі збільшенням діаметра рельєфу та товщини деталі. Тривалість протікання зварювального струму залежить від висоти рельєфу та товщини деталей, а зусилля на електродах – від міцнісних характеристик зварюваних металів та кількості рельєфів.

Електроди для рельєфного зварювання повинні мати більшу площу контакту, ніж площа контакту при точковому зварюванні.

18.2. ШОВНЕ ЗВАРЮВАННЯ (22)

При шовному зварюванні (деталей із листового металу по напустці або відбортовці) використовуються електроди у формі дисків (мал. 18.5), що підводять струм, передають зусилля зварювання і переміщують деталі з потрібною швидкістю внаслідок обертання навколо власної осі. З'єднання формуються у рідкій фазі у вигляді неперервних або переривчастих швів. Струм підводиться з одного або обох боків деталей.



Мал. 18.5. **Схема шовного зварювання:**
1 – електрод; 2 – деталі, що зварюються; 3 – шовне з'єднання;
d_e – діаметр електродів; $F_{зв}$ – зусилля зварювання; $V_{зв}$ – швидкість зварювання; I_2, $I_{зв}$ – струм вторинний і зварювальний; $I'_ш$, $I_ш$ – струми шунтування

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Під час шовного зварювання частина вторинного струму машини шунтується – проходить повз зони розплавлення через точки, що утворилися раніше, та ущільнювальний поясок попереду ролика-електрода (мал. 18.5). Це явище є особливо помітним при зварюванні металів з низьким питомим опором. При зварюванні металів з підвищеним питомим опором або під час зварювання на великих швидкостях частина вторинного струму, що шунтується, незначна.

Внаслідок підвищення температури металу, де формується нове лите ядро, виділення джоулевого тепла на контактних опорах («електрод-деталь» та «деталь-деталь») значно менше, ніж при точковому зварюванні. Тому швидкість кристалізації ядра зменшується, що відповідно знижує залишкові напруження у зварній конструкції.

Пластичне деформування металу при шовному зварюванні має деякі особливості. Утворення першої точки відбувається за схемою формування з'єднання під час точкового зварювання, коли частина нагрітого металу витискується з-під електродів у зазор між деталями завдяки тепловому розширенню металу в контакті «деталь-деталь». Утворення наступних точок супроводжується витискуванням металу перед електродами, як і при точковому зварюванні. В зоні за електродами метал витягується за роликами. Такий характер пластичної деформації спричинює появу не тільки серпоподібного рельєфу на поверхні швів, але й ущільнення попередньої точки внаслідок повторного нагрівання та пластичного деформування металу за електродом. А коли це не відбувається, наприклад, під час затвердіння рідкого металу, що має тривалий інтервал кристалізації, для запобігання виникненню пухкостей, гарячих тріщин та зменшення залишкових напружень і ущільнення литого ядра застосовується крокове обертання електродів. Зупинка електродів у момент проходження струму сприяє ущільненню швів, а також інтенсивному охолодженню зони зварювання й електродів, зменшенню температури у контактах «електрод-деталь».

Загальний ступінь деформації і розміри ущільнювального пояска при шовному зварюванні є більшими, ніж при точковому зварюванні, що дає можливість зменшувати тривалість та зусилля зварювання.

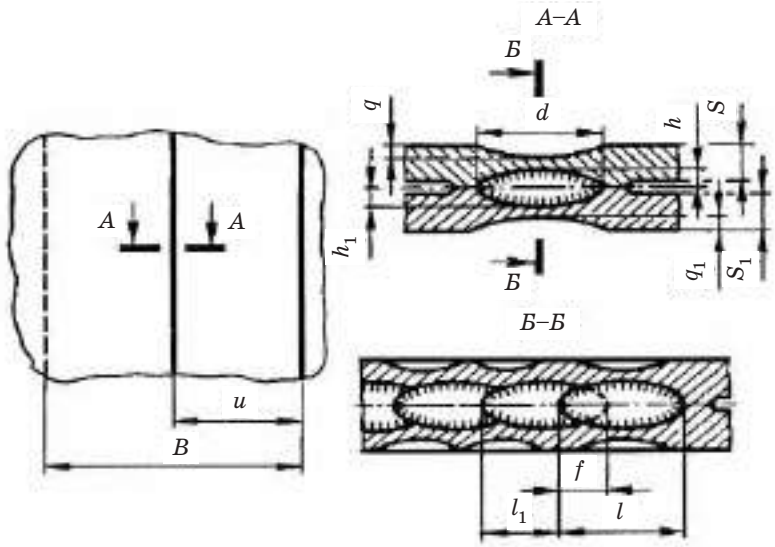
Литий метал швів звичайно має низьку пластичність, особливо коли деталі виготовлені з високоміцних сталей, чутливих до термічного циклу зварювання, або сплавів, що схильні до утворення ліквацийних зон.

У металі навколошовної зони внаслідок термомеханічного циклу шовного зварювання змінюються вихідні структура та механічні властивості. Тут можна виявити ділянки загартованого, відпущеного, перегрітого металу, зони рекристалізації та ліквації. Розвиток процесів, наслідком яких є подібні явища, можна частково регулювати зміною швидкості зварювання, сили струму і зусилля зварювання, а також охолодженням деталей та електродів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Нерівномірність хімічного складу та структурного стану металу швів та зон термічного впливу виправляють термічною обробкою зварної конструкції.

Шовне зварювання широко застосовується при виготовленні різних баків, циліндричних посудин, труб тощо (мал. 18.6).



Мал. 18.6. **Шовне з'єднання:**
h, h_1 – величини проплавлень; q, q_1 – глибини вм'ятин; S, S_1 – товщини деталей; d – ширина литої зони; l, l_1 – довжини литої зони та неперекритої частини литої зони шва; f – величина перекриття литих зон шва

При шовному зварюванні співвідношення величини перекриття f і довжини литої зони l герметичного шва має бути таким: $f > 0{,}25$. Шовне зварювання деталей товщиною менше 0,6–0,6 мм допускає зменшення величини перекриття литої зони до розмірів, які ще гарантують герметичність зварних швів.

Підготовку деталей до шовного зварювання виконують так само, як і при точковому. Більш жорсткі вимоги ставляться до очищення поверхонь деталей. Зварювання недостатньо чистих деталей супроводжується підвищеним шунтуванням, що знижує якість зварного з'єднання.

При складанні деталей для шовного зварювання не допускаються великі зазори, які спричинюють перегрівання, продавлювання і жолоблення деталей. Дуже щільне складання зумовлює шунтування струму.

Жолоблення деталей зменшують прихоплюванням. Крок між прихватками становить 80–150 мм, але для отримання герметичних швів крок між прихватками зменшують до 30–60 мм. Точки-прихватки мають бути без глибоких вм'ятин, не більше 15 % від товщини деталі та розташовуватися по осі майбутнього шва.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Прихоплювання виконують зварювальним струмом на 10–20 % меншим за струм під час точкового зварювання цього ж виробу. Не допускаються зовнішні та внутрішні випліскування. Виплески, що таки виникають на поверхнях прихваток, ретельно зачищають.

Протяжні шви прихвачують від центру до країв по черзі, починаючи від ділянок із підвищеною жорсткістю. Обичайки прихвачують почергово точками, що розташовуються діаметрально протилежно. Якщо зазори виявляються більшими, то деталі прокачують сталевими роликами. Прості вузли при складанні жорстко фіксуються за допомогою пристосувань і зварюються без прихоплювання.

Шовне зварювання ведеться по напустці або по відбортовці.

Параметрами режиму шовного зварювання є сила зварювального струму $I_{зв}$, тривалість проходження струму $t_{зв}$ та паузи $t_{п}$, зусилля стискання електродів $F_{зв}$, швидкість зварювання $V_{зв}$ та розміри електродів.

Силу зварювального струму вибирають залежно від товщини, фізико-механічних властивостей металу деталей та швидкості зварювання. У зв'язку з шунтуванням сила струму має бути на 15–25 % вищою, ніж при точковому зварюванні. При зварюванні поздовжніх швів на виробах із феромагнітних металів сила зварювального струму може зменшуватися через підвищення індуктивного опору вторинного контуру машини та втрат потужності машини. Це явище усувається зварюванням ділянками на різних струмах, регулюванням сили струму в процесі зварювання.

Тривалість імпульсів зварювального струму $t_{зв}$ і пауз $t_{п}$ між ними залежать від сили та роду струму, а також від швидкості зварювання $V_{зв}$.

Тривалість пауз для маловуглецевих та нержавіючих сталей орієнтовно приймають $t_{п} = (1{,}0…1{,}2)t_{зв}$, для гартованих сталей $t_{п} = (0{,}5…0{,}8)t_{зв}$, для алюмінієвих сплавів $t_{п} = (1{,}5…1{,}2)t_{зв}$. Маловуглецеві сталі з антикорозійним покриттям зварюються на жорстких режимах при тривалості пауз $t_{п} = (0{,}25…0{,}3)t_{зв}$.

Зусилля стискання $F_{зв}$ при шовному зварюванні залежить від товщини, жорсткості та механічних властивостей металу деталі. Зусилля обмежується стійкістю електродів та потужністю приводу обертання машини.

Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/хв, вибирають з урахуванням величин перекриття f точок (мал. 18.6) та відстані між ними. Максимальне значення $V_{зв}$ обмежене швидкостями нагрівання та кристалізації металу, що зварюється.

Розміри робочої частини електродів залежать від товщини та конструкції деталей. Використання роликів діаметром до 250–300 мм прискорює спрацьовування електродів.

При зварюванні кільцевих швів ролик усередині виробу має бути меншого діаметра, ніж зовні, для забезпечення рівномірної щільності струму та теплових потоків у контакті «електрод-деталь».

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Деталі зі сталей (при співвідношенні товщин 1:3) або з металів, що мають високу електропровідність (при співвідношенні 1:2), зварюються з розплавленням обох деталей. Якщо ці співвідношення більші, то здійснюються такі ж технологічні заходи, що і при точковому зварюванні.

Для зварювання деталей із маловуглецевих сталей завтовшки не більше 2,0 мм застосовуються електроди з циліндричною робочою поверхнею. Електроди зі сферичною поверхнею використовують під час зварювання легованих сталей, спеціальних сплавів середньої і великої товщини, мідних, алюмінієвих та титанових сплавів тощо, а також для зварювання маловуглецевих сталей з товщиною понад 2,0 мм.

Розміри робочої поверхні електродів-роликів вибирають залежно від товщини деталей S, що зварюють, за формулою:

$$B = 2S + 3 \text{ мм},$$

де B – ширина ролика.

Шовним зварюванням виконують також і стикові з'єднання. Застосовується цей спосіб для зварювання деталей завтовшки не більше 3 мм із маловуглецевих та низьколегованих сталей, а також сталей із легкоплавкими покриттями та з титанових сплавів.

Деталі в цьому випадку складають із зазором за допомогою спеціальних пристосувань, в яких стискаються краї заготовок. При зварюванні використовують звичайну циклограму з циклічним характером вмикання струму, постійними зусиллями на електродах і швидкістю зварювання. Режими близькі до загальноприйнятих, що використовують при зварюванні по напустці.

Для збільшення ступеня проплавлення деталей, захисту роликів, зменшення підсилення швів та отримання високої міцності стиків між роликами та деталями вводять тонку стрічку з того ж металу, що і деталі, які зварюються. Товщина стрічки 0,2–0,3 мм, ширина – на 30 % менша, ніж ширина литої зони.

Шовно-стикове зварювання із роздавлюванням країв потребує також спеціальних пристосувань для закріплення деталей. Напустка, менша ніж 3 мм, концентрує тепловиділення, внаслідок чого зминаються кромки, подрібнюються оксиди і витискаються із зони зварювання. З'єднання при цьому формується у твердій або у рідкій фазі.

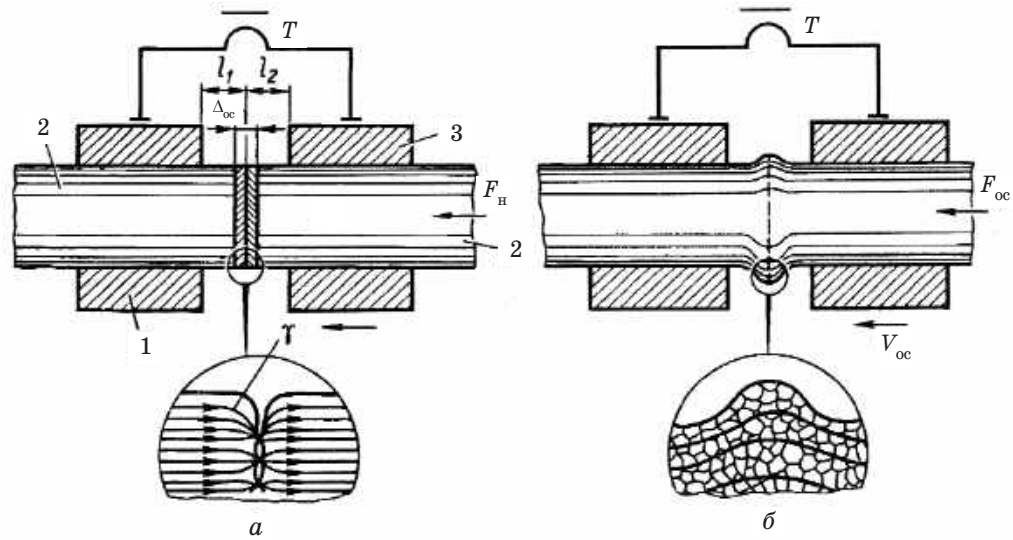
При шовному зварюванні з проміжним електродом у вигляді мідного дроту, який безперервно протягують між роликом та деталлю, значно підвищується стійкість електродів-роликів і зменшується руйнування захисних металевих покриттів на поверхні деталей.

Для зменшення деформації та внутрішніх напружень після шовного зварювання найчастіше шви обкатують сталевими роликами, а також проводять термічну обробку. Корозійну стійкість виробів підвищують так, як після точкового зварювання.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

18.3. СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ

При стиковому зварюванні опором (мал. 18.7) стики, нагріті джоулевим теплом до пластичного стану, деформуються осаджуванням.



Мал. 18.7. **Схема стикового зварювання опором:**
а – стик до зварювання; *б* – стик після зварювання;
1, 3 – губки-електроди; 2 – деталі, що зварюються;
T – зварювальний трансформатор; $F_н$, $F_{ос}$ – зусилля нагрівання та осаджування; $V_{ос}$ – швидкість осаджування; γ – лінії струму; $\Delta_{ос}$ – припуск на осаджування; l_1, l_2 – встановлювальні довжини

Послідовність зварювання така. Спочатку деталі затискають у струмопідвідних губках-електродах зварювальної машини та щільно стискають між собою в осьовому напрямку зусиллям нагрівання, після чого вмикають електричний струм. Нагрівання деталей відбувається внаслідок генерування тепла в електроопорах самих деталей (на встановлювальній довжині), а також у контактному електроопорі «деталь-деталь».

Тепло, що виділяється у контакті між деталями, в балансі загального тепла не перевищує 10–15 %. Проте воно виділяється за короткий час і у вузькій приконтактній зоні, що є достатнім для формування зварних з'єднань. Торці деталей у цій зоні нагріваються до температури $T_{зв}$, нижчої за температуру плавлення металу $T_{пл}$, $T_{зв} = (0{,}8...0{,}9)T_{пл}$.

Інтенсивність та характер нагрівання (градієнт температури) деталей визначаються початковим зусиллям стискання, жорсткістю імпульсів зварювального струму, встановлювальною довжиною деталей, станом поверхонь деталей у контакті «деталь-деталь» та фізико-механічними властивостями металу деталей і оксидів на їх поверхні. Після нагріван-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ня струм вимикають, а деталі пластично деформують осаджуванням таким зусиллям, як і під час нагрівання або більшим за нього.

Внаслідок деформації осадки приконтактні шари металу з плівками бруду та оксидами витискаються із зони зварювання. Метал, витиснутий у зазор, повільно утворює стовщення, величина якого дає змогу орієнтовно робити висновки про якість з'єднань. Проте, оскільки деформація обмежена, виводиться не більше 60–70 % оксидів, що зумовлює незначну пластичність таких з'єднань.

Об'ємна пластична деформація при стиковому зварюванні опором характеризується відношенням кінцевої $S_к$ до початкової $S_п$ площ деталей у місці з'єднання $S_к / S_п$ до 4,0. Підвищення цього співвідношення призводить до втрати стійкості деталей або до зниження пластичності внаслідок скривлення волокон металопрокату.

Очищення стиків від оксидів відбувається ефективніше при використанні схеми зварювання з примусовим формуванням стику за допомогою спеціальних обтискних пристроїв у електродах, що дає змогу локалізувати деформацію та збільшити площу оновлення поверхонь стиків.

Ефективним засобом попередження окислення розігрітого металу є використання захисних газів (інертних до металів, що зварюються), якими наповнюють камери навколо стиків.

Пристикова зона, де відбуваються суттєві зміни структури та інших властивостей у металі деталей від термомеханічного циклу зварювання, має достатньо великі розміри, що негативно впливає на працездатність стиків. Протяжність цієї зони залежить від хімічного складу металу, попередньої термічної обробки та умов зварювання.

Для місцевого вирівнювання структури, твердості металу стиків у зоні термічного впливу застосовують термічну обробку деталей або у губках зварювальної машини, або у термічних печах.

Важливим етапом стикового зварювання є процес рекристалізації, який проявляється у руйнуванні мікроскопічних зерен на поверхні нагрітого металу з одночасним виникненням нових спільних зерен для обох деталей.

Підготовка деталей до стикового зварювання полягає у наданні їх торцям визначеної форми і ретельній очистці поверхонь. Торцеві поверхні обробляють механічним різанням за допомогою ножиць, пилок. Застосовують гаряче та холодне висадження на пресах, на металорізальних верстатах, а також газове або плазмове різання з подальшим очищенням деталі від шлаку або хімічним травленням.

Струмопідвідні поверхні на торцях заготовок можуть оброблятися також дробо- або піскоструминними установками й апаратами.

З метою рівномірного нагрівання й однакового пластичного деформування під час осаджування торці деталі спеціально обробляють. Бажано, щоб після обробки форма та розміри перерізу заготовок були однакови-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ми. Діаметри деталей у місці зварювання не повинні відрізнятися більше ніж на 15 %. Для товщин допускається різниця не більше 10 %.

Робочими параметрами режиму стикового зварювання є зусилля нагрівання або програма зміни зусилля під час зварювання, щільність струму або сила струму зварювання, тривалість нагрівання, встановлювальна довжина і зусилля затискання деталей у губках-електродах зварювальної машини.

Кінці деталей випрямляють перед установленням у губки-електроди. Мінімальна встановлювальна довжина деталей компактного перерізу вибирається залежно від площі їх перерізу:

Площа перерізу деталі S, мм^2	25	50	100	250
Встановлювальна довжина ($l_1 + l_1$), мм	3 + 3	4 + 4	4 + 4	6 + 6

Для підвищення стійкості деталей та локалізації деформації в зоні зварювання між губками машини роблять ізолюючі вставки.

Звичайно встановлювальна довжина деталі l_1 становить $(0{,}8...1{,}0)d$, де d – діаметр зварюваної деталі, мм. При стиковому зварюванні різнорідних металів з метою забезпечення рівномірного нагрівання встановлювальні довжини деталей неоднакові. Для деталей із металу з більшою теплопровідністю встановлювальна довжина має бути більшою.

Зусилля нагрівання вибирають з умови забезпечення оптимального поширення температур у деталях.

Силу зварювального струму або його щільність визначають з урахуванням площі поперечного перерізу і властивостей металу, що зварюють.

Зусилля (тиск) осадки залежить від припуску на осадку – величини пластичної деформації деталей, а також від якості очищення стиків від оксидів.

Зусилля затискування деталей у губках зварювальної машини, щоб запобігти проковзуванню, має бути у 2–3 рази більшим, ніж зусилля осадки.

Деталі з різнорідних металів інколи зварюють через металокерамічні або біметалеві вставки, а з тугоплавких – через пасти з гідридів металів або металевий порошок.

Деталі, площа перерізу яких первищує 300 мм^2, зварюють опором у вакуумі або в середовищі захисних газів. Орієнтовні витрати газу під час зварювання виробів перерізом 500 мм^2 становлять 800–1200 л/год. Газ має подаватися безперервно, щоб уникнути зміни складу газового середовища навколо деталей у зоні зварювання внаслідок вигоряння адсорбованих речовин. Для захисту використовуються гази-відновники H_2, C_3H_8 та NH_3, іноді Ar та N_2, очищені від кисню й води, або суміші нейтральних газів з вуглеводнями.

Під час стикового зварювання опором дроту за звичайною схемою не завжди можна забезпечити високі механічні властивості через перегрівання металу, коли в зоні з'єднання утворюються великі зерна та з'являються мікротріщини.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Якісніші з'єднання можуть бути отримані зварюванням опором із примусовим формуванням та з наступною термічною обробкою стику. Параметрами режиму зварювання є напруга холостого ходу зварювального трансформатора $U_{2xx.}$, зусилля нагрівання $F_н$ та осаджування $F_{ос}$, загальний припуск на зварювання $\Delta_{зв}$, припуск на підігрівання $\Delta_{під}$ й осаджування $\Delta_{ос}$. Припуск на осаджування включає припуски на осаджування під струмом $\Delta_{ос.ст}$ та на осаджування без струму $\Delta_{ос.бст}$. Після вимикання струму зварювання, коли з'єднання ще перебуває під дією зусилля осаджування, зону зварювання додатково нагрівають до температур ізотермічного гартування або відпуску імпульсами струму $I_{під}$ потрібної сили та тривалості (залежно від марки сталі й діаметра виробу).

Цей спосіб відрізняється тим, що деформуванню під час нагрівання та осаджування підлягає весь метал на встановлювальній довжині, який витискується між робочими поверхнями формуючих проміжних пристроїв. На завершальному етапі осаджування витіснений метал підрізається краями формуючих пристроїв і видаляється, внаслідок чого нагрівання зони зварювання значно зменшується.

Тонкостінні труби діаметром 120 мм та прутки з алюмінієвих сплавів (АД1, АМг6) також добре з'єднуються стиковим зварюванням опором з примусовим формуванням і без наступної термічної обробки металу стиків. З'єднання дротів з алюмінію можливе і на звичайному обладнанні. При цьому спочатку зварюють на традиційних режимах або застосовують обладнання для стикового зварювання опором. Далі зона знеміцнення розташовується між сталевими затискачами машини для стикового холодного зварювання або потужної машини електричного контактного зварювання (різальні краї мають як рухомі, так і нерухомі затискачі) та піддається деформуванню в осьовому напрямку до повного зближення різальних країв. Грат (облой) та стовщення після деформування легко усуваються.

З'єднання дротів з алюмінієвих та деяких інших сплавів можна виконувати зварюванням опором із розплавленням металу стику при мінімальному стисканні торців деталей з подальшим витісненням рідкого металу під час осаджування та деформуванням знеміцненої зони у гарячому стані.

Силу зварювального струму $I_{зв}$ для підвищення продуктивності збільшують порівняно з мінімальним значенням I_0. Наприклад, для чорних металів відношення становить 3–4, для кольорових металів – 1,5–2,0. Максимальна сила струму зварювання залежить від теплофізичних властивостей металу. Тривалість зварювання та швидкість деформування визначаються відповідно до сили зварювального струму.

Припуски на зварювання для алюмінієвого дроту мають бути $(0{,}5…0{,}8)d$ для міді – $(0{,}3…0{,}5)d$. Найбільша встановлювальна довжина обмежується величиною $(1{,}8…2{,}0)$d для алюмінію, $(1{,}8…2{,}3)d$ – для

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

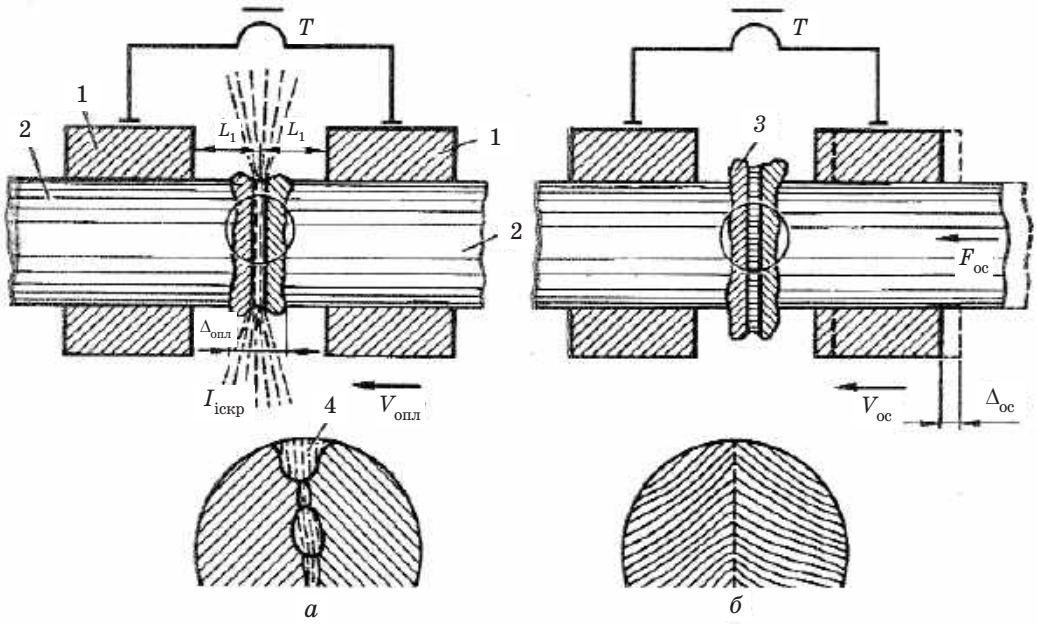
міді. Зусилля затискання дроту має в 2–3 рази перевищувати зусилля осаджування.

Після зварювання для термообробки стику через нього пропускають додатковий струм $I_т = (0{,}6...0{,}9)I_{зв}$. У деяких випадках з метою покращення мікроструктури металу стику зусилля осаджування збільшуються у 5–10 разів.

18.4. СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ (24)

Зварювання оплавленням – стикове зварювання, що відбувається внаслідок нагрівання металу стиків до оплавлення і наступної осадки.

Зварюється метал за такою схемою. Деталі спочатку затискують у електродах-губках, потім на них подається напруга від зварювального трансформатора і тільки після цього повільно переміщують одну з деталей назустріч іншій з потрібною швидкістю до їх зіткнення (мал. 18.8).



Мал. 18.8. **Схема стикового зварювання безперервним оплавленням:**
а – стик під час оплавлення; *б* – стик після осадки;
1 – електроди-губки; 2 – деталі, що зварюються; 3 – грат; 4 – рідка перемичка; T – зварювальний трансформатор; $F_{ос}$ – зусилля осадки; $V_{ос}$ – швидкість осадки; $V_{опл}$ – швидкість оплавлення; L_1 – встановлювальна довжина; $I_{іскр}$ – струм іскри; $\Delta_{опл}$, $\Delta_{ос}$ – припуски на оплавлення та осадку

У момент виникнення первісного контакту через окремі точки торців (при незначному зусиллі стискання) проходить струм високої щільності,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

внаслідок чого метал контактів-перемичок миттєво розігрівається до температури кипіння та випаровування і вибухоподібно руйнується. Під час вибуху частина металу перемичок викидається зі стику у вигляді іскор та бризок.

Процес утворення рідких перемичок та їх руйнування проходить безперервно до виникнення на торцевих поверхнях деталей рівномірного шару розплавленого металу.

Метал деталей нагрівається поступово внаслідок передачі тепла від іскрового зазору.

Контактний опір «деталь-деталь» при зварюванні оплавленням називається опором оплавлення. Величина його залежить від розмірів та кількості рідких перемичок, властивостей оксидних плівок на їх поверхні, величини перерізу деталей, від властивостей металу, що зварюють, тощо.

На опорі оплавлення генерується до 85–90 % загального тепла, що виділяється між електродами. На кінцевій стадії оплавлення кількість рідких перемичок зростає і збільшується їх провідність. Власний опір деталей на встановлювальній довжині під час зварювання монотонно зростає. Тому тільки на кінцевій стадії опір металу деталей може помітно впливати на процес тепловиділення. Після прогрівання деталей на потрібну глибину при оплавленні і наявності шару рідкого металу на всій площині торців деталей їх стискають з підвищеною швидкістю із зусиллям осадки. При осадці рідкий метал разом з оксидами й іншими забрудненнями витискуються зі стику у грат. Таким чином металеві зв'язки у з'єднанні починають формуватися у рідкій фазі, а закінчують у твердій.

Внаслідок використання відносно жорстких режимів зварювання якісні з'єднання виникають при відношенні кінцевої площі перерізу стику $S_к$ до площі деталей до зварювання $S_п$ більшому двох, тобто $S_к/S_п < 2$, при якому оновлення поверхонь торців наближається майже до 100 %.

Для з'єднання деталей більших перерізів, коли електрична та механічна потужності обладнання виявляються недостатніми, застосовують попереднє підігрівання.

Кінці деталей при цьому способі спочатку підігрівають аналогічно зварюванню опором – їх періодично стискають із невеликим осьовим зусиллям і вмикають струм, внаслідок чого виділяється тепло у контакті «деталь-деталь», і розмикають, а потім розводять.

Після підігрівання стиків металу до потрібної температури виконується з'єднання безперервним оплавленням за схемою зварювання оплавленням.

Закінчується процес осадкою. Вона потрібна для витіснення зі стику розплавленого та перегрітого твердого металу, забрудненого оксидами, та для виникнення металевих зв'язків між деталями. При осадці деформація металу сприяє процесу рекристалізації.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Для стикового зварювання електроди-губки виготовляють із бронзи типу МЦ-2, БрНБТ або МЦ-3. Ширина робочих поверхонь електродів при зварюванні без упорів має бути не меншою 2,5δ (δ – товщина штабів). Мінімальну робочу площу контакту «електрод-деталь» визначають згідно з допустимими значеннями тиску: для міді – 2 даН/мм^2, для бронзи – 4 даН/мм^2. Температура в контакті «електрод-деталь» має бути не вищою 250–300°С, а щільність струму – 7–10 А/мм^2.

Форма робочої поверхні електродів звичайно відповідає формі зовнішньої поверхні деталей, що зварюються.

Головні параметри режиму зварювання безперервним оплавленням (мал. 18.11, *б*), за винятком фази підігрівання, є швидкість оплавлення $V_{опл}$ та осадки $V_{ос}$, напруга холостого ходу трансформатора $U_{2х.х.}$, щільність струму $j_{зв}$ або сила струму зварювання-оплавлення $I_{зв}$, припуски на оплавлення $\Delta_{опл}$ та осадку $\Delta_{ос}$, тривалість оплавлення $t_{опл}$ та осадки під струмом $t_{ос.ст}$, зусилля (тиск) осадки $F_{ос}(p_{ос})$, встановлювальна довжина деталей l_1, зусилля затискання заготовок між електродами $F_{зат}$.

Додаткові параметри режиму зварювання оплавленням з підігріванням – сила струму імпульсу підігрівання $I_{під}$, його тривалість $t_{імп}$, тривалість фази підігрівання $t_{під}$, кількість імпульсів підігрівання n або температура підігрівання $T_{під}$.

Деталі з великим перерізом зварюють за технологією, запропонованою науковцями ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. Розроблено два способи підвищення ефективності підігрівання під час оплавлення: зварювання з імпульсним оплавленням і з програмним регулюванням напруги зварювання під час оплавлення.

При імпульсному оплавленні головне поступове переміщення рухомої плити зварювальної машини доповнюється додатковими механічними коливаннями з частотою 3–45 Гц і амплітудою 0,1–0,8 мм. Імпульсне оплавлення дає змогу локалізувати нагрівання, розширити зону високих температур у деталях, запобігти швидкій кристалізації рідкого металу, зменшити потужність, що споживається під час зварювання, припуск та тривалість оплавлення в 3–4 рази та підвищити швидкість оплавлення.

Зварювання з програмуванням напруги (при незмінній швидкості оплавлення) потребує підвищеної початкової напруги для збудження оплавлення. Після виникнення стійкого оплавлення напругу зменшують до мінімально можливих значень, які можуть забезпечити стійке оплавлення.

У кінці оплавлення перед осадкою напругу холостого ходу зварювального трансформатора на деякий час підвищують для збільшення локальної стійкості процесу.

При програмному регулюванні напруги у 3–5 разів знижується потужність зварювання та в 1,5–2 рази – тривалість зварювання.

Зварювання з програмним керуванням оплавленням, крім головних і додаткових параметрів, характеризують також напругою холостого ходу трансформатора $U_{2хх.}$ і програмою його зміни.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При зварюванні імпульсним оплавленням установлюють ще частоту та амплітуду коливань рухомої плити машини.

Металеві стрижні при безвідходному виробництві будівельних та інших конструкцій з'єднують стиковим зварюванням безперервним оплавленням або оплавленням з підігріванням, якщо стійкість оплавлення не може бути забезпечена у зв'язку з відсутністю машини потрібної потужності для стрижнів великого перерізу.

Арматуру різних класів зварюють (типи з'єднань С1-Ко і С2-Кн) за режимами, що встановлюються для арматури вищого класу. За наявності спеціальних пристроїв для попереднього підігрівання стрижнів із великим діаметром допускається зварювати стрижні з відношенням діаметрів 0,3–0,8.

Після зварювання стрижні, які експлуатуються з вібраційними навантаженнями, піддаються механічній обробці в зоні зварювання.

Стики термозміцненої арматури зі сталей 35ГС, 20ГС, 20ГС2, 20ХГС2 тощо після зварювання підлягають прискореному охолодженню водою зі спреєра (6–7 с) з вивільненням із затискачів машини.

При виготовленні інструменту прутки зі швидкорізальної та вуглецевої сталей зварюють безперервним оплавленням з попереднім підігріванням при тривалості імпульсу струму підігрівання 0,08–0,2 с і тривалості перерв між ними 0,12–0,3 с (більші значення для прутків діаметром 60–80 мм). Прутки зі сталей Р6М3К5, Р12 та інших з діаметром меншим, ніж 16 мм звичайно зварюють при малих припусках на оплавлення. Тривалість підігрівання та оплавлення прутків зі сталей з вищою теплостійкістю більша, а з'єднання металевих стрічок виконується стиковим зварюванням безперервним оплавленням. При виборі параметрів режиму зварювання стрічок потрібно враховувати, що напруга холостого ходу зварювальної машини тим вища, чим більша площа поперечного перерізу заготовок. Щільність струму знижується з підвищенням товщини стрічки. Якщо ширина стрічки коливається від 200 до 2000 мм, то припуски $\Delta_{опл}$ та $\Delta_{ос}$ встановлюються такими ж, як для ширини 400 мм. Мінімальний припуск на оплавлення $\Delta_{опл} = (0{,}4…2{,}5)\delta$. Всі інші параметри лінійно залежать від товщини стрічки δ.

Тонкі стрічки (товщиною до 0,3 мм) при зварюванні потребують підвищеної точності установки положення електродів і примусового формування стику. Надійне закріплення забезпечується використанням верхніх губок зі скосом або губок із різальними краями. Інколи ці стики зварюють на машинах постійного струму. Перед зварюванням кінці стрічки мають бути точно обрізані. Для отримання однакової встановлювальної довжини та паралельності торців стрічки встановлюють за допомогою спеціального ножа, розташованого симетрично до губок.

При зварюванні стрічок завтовшки 1,5–2 мм для скорочення тривалості оплавлення (на 20–30 %) і осадки під струмом (до 2–3 періодів) ре-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

комендується підвищувати напругу холостого ходу зварювальної машини в 2,5–3 рази.

Якщо відрізання або встановлення стрічок у машині недостатньо точні, то збільшують припуски на оплавлення, внаслідок чого збільшуються і загальні витрати металу. При оплавленні стрічок різної ширини для усунення підплавлення електродів потрібно встановлювати обмежені величини припусків на оплавлення.

Для визначення основних параметрів режиму зварювання стрічок на автоматизованих машинах рекомендується використовувати спеціальні графічні залежності.

Стикове зварювання стрічок зі сталей, які гартуються, виконують з термічною обробкою стику. Нагрівання для цього здійснюється у губках машини відразу після зварювання. *Запобігти вигину стрічок дає змогу зворотний хід рухомого затискача.*

Для рівномірного поширення струму підігрівання рекомендується збільшувати встановлювальну довжину з краю стрічок і застосовувати тиск, який повільно збільшується від центру до краю.

Нагрівання при термообробці може поєднуватися з пластичною деформацією металу стику.

Металеві листи, штаби та рейки можна зварювати також імпульсним оплавленням і оплавленням з програмним регулюванням напруги та швидкості оплавлення.

Машини для зварювання стрічок повинні мати односторонній струмопідвід і плоскі електроди.

При розташуванні зварювального трансформатора знизу машини забезпечується рівномірніше нагрівання металу стику.

Після зварювання стрічок завтовшки 1–6 мм і завширшки до 500 мм їх стики з гратом зачищають дворізцевими консольними гратозрізувачами (з верхнім регульованим різцем), вмонтованими в машину.

Стики стрічок з алюмінієвих сплавів обробляються сталевими жароміцними вставками, які містяться в електродах. На легованих сталях грат усувається шліфуванням.

Труби залежно від діаметрів та товщини стінки зварюються безперервним оплавленням, оплавленням із попереднім підігріванням і оплавленням за визначеною програмою.

Процес *зварювання тонкостінних труб* починають при невеликій швидкості оплавлення, а закінчують при швидкостях 5–10 мм/с. Щоб забезпечити формування рівномірного шару розплаву на торцевих поверхнях деталей, потрібно різко підвищувати швидкість оплавлення перед осадкою.

Товстостінні труби великого діаметра зварюють з підігріванням.

Труби великого діаметра (1020–1420 мм) зварюють з програмуванням вторинної напруги і швидкості оплавлення.

Для стикового зварювання кільцевих деталей використовується по-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тужніше зварювальне обладнання у зв'язку з шунтуванням частини струму в тілі виробу і підвищеним опором деформації деталі.

Зменшують струм шунтування насаджуванням рознімного осердя на кільце, яке зварюють, для підвищення опору ланцюга шунтування. Деформацію полегшують підігріванням кільця перед зварюванням зовні або в губках зварювальної машини (при розімкнутих торцях).

Дроти успішно з'єднуються контактним зварюванням. Виконуються стикові з'єднання дротів із перерізом від 0,008 до 3,2 мм^2 і таврові з'єднання тонких дротів із плоскими деталями з однорідних або різнорідних пар металів і сплавів у приладобудуванні, радіотехніці, електроніці тощо.

Стикове мікрозварювання за видом джерела живлення поділяється на конденсаторне (енергія накопичується у конденсаторах) та акумульоване (енергія накопичується у магнітному колі), а за *станом металу в зоні зварювання* – на процес без розплавлення і з безперервним оплавленням деталей, в тому числі дуговим або іскровим розрядами конденсаторів з ударною та безударною осадкою.

Головними параметрами режиму стикового мікрозварювання є ємність конденсаторів, напруга зарядки конденсаторів, опір мережі розрядження конденсаторів, коефіцієнт перетворення зварювального трансформатора, зусилля осадки деталей у кінцевій фазі зварювання, встановлювальна довжина деталей, кількість енергії, що накопичується для зварювання, та швидкість переміщення зварювальної головки.

Очищення – завершальна операція після зварювання. Усувають грат та підсилення, виконують правку та нагрівання деталей з метою покращення структурного стану металу.

Грат усувається при зварюванні прямих труб продуванням їх внутрішньої порожнини газовими сумішами або обмежується його утворення завдяки спеціальним внутрішнім знімним вставкам або вставкам, які залишаються після зварювання в трубі у вигляді кілець.

У трубах з легованих сталей грат усувають протяжками і дорнами з різальними кромками. Протяжку з ножами вставляють у трубу на відстані 150–200 мм за стиком, а дорни – на відстані 100 мм. При зварюванні фланців дорн може знаходитися зовні труби. Для зачистки зігнутих труб застосовуються також пневматичні снаряди.

Іноді зовнішній грат можна зняти зусиллям осадки після звільнення рухомого затискача при використанні ножових гратознімачів. Ножі звичайно закріплюють у вкладишах рухомої колони зварювальної машини.

Грат та підсилення можуть зрізатися і багаторізцевими головками, спеціальними ножами, бойками. Для видалення вказаних дефектів застосовують і шліфування абразивним інструментом.

Підготовка поверхонь труб для забезпечення надійного контакту «труба-електроди-башмаки» виконується на спеціальних приладах.

Механічне виправлення виробів, очищених після стикового зварювання, виконують із місцевим або загальним підігріванням.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Термічна обробка та її режими визначаються залежно від властивостей та складу сталей або сплавів, а також особливостей конструкції виробів і технічних умов або вимог до якості зварного з'єднання.

18.5. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

На підприємствах України експлуатується широка номенклатура обладнання для електричного контактного зварювання.

Класифікація залежить від таких ознак:

– типу з'єднання під час зварювання (машини точкові, рельєфні, шовні та стикові);

– конструктивних особливостей (стаціонарні та підвісні радіального та пресового типу, з окремими або вмонтованими трансформаторами);

– джерел живлення (змінного струму, низькочастотні та постійного струму і конденсаторні);

– типу зусилля стискання деталей (з постійним чи змінним зусиллям);

– технічних вимог, що нормуються (група А з підвищеною стабільністю параметрів і групи Б з нормальною стабільністю параметрів);

– призначення (універсальні та спеціалізовані);

– ступеня автоматизації (автоматичні, напівавтоматичні та неавтоматичні);

– конструкції приводу подавання та стискання деталей (пружинного, важільного, пневматичного, гідравлічного, електромеханічного та комбінованого типів);

– конструкції затискуючих пристроїв стикових машин (ексцентрикового, гвинтового, важільного, пневматичного, гідравлічного, електромеханічного та комбінованого типів).

Машини універсального призначення використовують для зварювання різноманітних деталей різної форми, широкого діапазону товщин, із різних металів. Вони мають великі діапазони регулювання зусилля стискання, сили зварювального струму та стабілізації параметрів режиму.

Спеціалізовані машини призначаються для зварювання конкретних груп деталей і вузлів. Тому конструкції таких машин залежать від характеристик деталей та виду зварювання.

Універсальні машини точкового, рельєфного та шовного зварювання характеризують такі параметри: діапазони вторинних струмів і зусиль стискання, номінальна сила тривалого вторинного струму, величини вильотів і розхилів електродів і хоботів і найбільша тривалість протікання зварювального струму.

У машинах зі змінним зусиллям стискання обмежується найбільше зусилля; у точкових і шовних машинах – вертикальне та двостороннє зміщення електродів. У рельєфних машинах регламентується допуск паралель-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ності контактних поверхонь електродних плит. Для шовних машин вказують діапазон регулювання лінійної швидкості обертання роликів-електродів.

У стикових машинах ставляться конкретні вимоги до величин (номінальних, найменших та найбільших) зусиль стискання, осадки і до відстані між губками.

Для машин змінного, постійного струму та низькочастотних обумовлюються найбільша потужність короткого замикання та потужність для конденсаторних машин – тривала потужність за цикл роботи.

Машини розраховуються на напругу промислової мережі 380 В та частоту 50 Гц. За індивідуальним замовленням машини виготовляються на номінальну напругу 220 В (50 Гц) при найбільшій потужності короткого замикання до 60 кВ · А.

Крім того, до контактних машин ставляться і такі вимоги, як максимальна швидкість спрацьовування та мала інерційність приводів, інтенсивне охолодження елементів, що підігріваються; безпека роботи; маневреність елементів вторинного контуру для зварювання виробів різної форми без складного переналагодження; надійний захист контактних поверхонь деталей, що труться, від налипання бризок металу, води та пилу.

Особливістю роботи машини контактного зварювання є переривчастий режим їх роботи, під час якого постійно чергуються вмикання та вимикання зварювального струму. Такий режим роботи називають повторно-короткочасним і характеризують відносною (у процентах) тривалістю вмикання (ТВ).

Система позначення універсальних машин дає змогу визначити їх *тип та значення головних технологічних параметрів.*

Перша літера – призначення обладнання: М – машина, П – прес. *Друга – вид зварювання:* Т – точкове, Р – рельєфне, Ш – шовне та С – стикове. *Третя літера – джерело живлення:* В – з випрямленням струму у вторинному контурі, Н – низькочастотні, К – конденсаторні.

Наприклад, МТ, МР, МШ і МС – машини точкового, рельєфного, шовного і стикового зварювання.

У машинах змінного струму третя буква означає або конструктивні особливості (П – підвісні, Р – радіального типу, М – багатоточкові), або уточнює спосіб зварювання (С – для стикового зварювання опором, О – для зварювання оплавленням). Наприклад, МТП і МТР – машини точкового зварювання змінним струмом, відповідно підвісні та радіального типу. Позначення МСО – машина стикового зварювання оплавленням. *Іноді вводять четверту букву,* щоб вказати додаткові конструктивні особливості. Наприклад, МТВР – машина точкового зварювання з випрямленням струму у вторинному контурі, яка має радіальний хід верхнього електрода; МТВП – машина точкового зварювання з випрямленням струму, підвісна.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Повне позначення однієї з машин МТВР-4001У4, А, 380 В, 50 Гц розшифровується так: перші дві–три цифри визначають найбільший струм короткого замикання в кілоамперах (40 кА), наступні дві – номер моделі (01). Далі йде кліматичне виконання та категорія розташування. Група машин залежно від технічних вимог А – з підвищеною стабільністю параметрів, напруга мережі живлення 380 В, частота мережі 50 Гц та технічні вимоги до машини. У стикових машинах для зварювання з оплавленням перші дві цифри позначення вказують зусилля осадки у кілоньютонах.

Наприклад, МСО-301 – машина з зусиллям осадки 30 кН (3 т).

Машини постійного струму МРВ, МТВ, МТВР, МШВ та низькочастотні типу МТН, МРН мають хороші експлуатаційні характеристики – прийнятну форму імпульсу струму і відносно малу енергоємність. Їх рекомендують для зварювання відповідальних виробів із будь-яких конструкційних металів.

Машини для точкового зварювання. Універсальні стаціонарні однофазні машини для точкового зварювання мають корпус, всередині якого знаходиться зварювальний трансформатор. Колодки його вторинного витка з'єднані з консолями-хоботами, електродотримачами й електродами гнучкими та жорсткими шинами. Верхній електрод перемішується вверх і вниз (робочий і додатковий хід) разом із верхнім повзуном механізму стикування. Найбільшого поширення в цих машинах набули пневматичні приводи (поршневі й діафрагмові). У пневматичних системах обладнання для контактного зварювання застосовуються електропневматичні клапани та пневматичні розподілювачі, які змінюють напрямки потоків стиснутого повітря у пневматичних приводах типів КПЕМ (змінного струму), КЕП, П-ЕПР, П-РЕ, В та П-Р4Ф постійного струму на 12, 24, 36… В), перемикачі та пневматичні розподілювачі ручні кранові типів ППМ, П-РВП, В-71 та ін.

Для аварійного випуску стиснутого повітря із пневматичної системи використовують аварійні пневматичні розподілювачі типу П-РА, а для підвищення швидкості вихлопу стиснутого повітря шляхом зменшення опору вихлопної лінії – пневматичні клапани типу КПВМ чи П-КБВ.

Регулювання витрат стиснутого повітря в одному напрямку та забезпечення незалежного проходу повітря у зворотному напрямку здійснюється за допомогою пневматичних дроселів типу ПД. Для дроселювання повітря на виході в атмосферу, а також для регулювання швидкості переміщення виконавчих органів пневматичних схем застосовують пневматичні дроселі типів КДП, В і ГП-ДВ. З метою гальмування руху виконавчих органів пневматичних приводів (шляхом натиснення спеціального упора на ролик) пневматичні схеми комплектують дроселями типу П-ДТ.

Зниження тиску повітря та підтримка його на потрібному постійному рівні виконується за допомогою редукуючих пневматичних клапанів типів ВР, ГД, РВ, БВ та 122-16.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Зменшення шуму під час вихлопу повітря в атмосферу із пневматичної системи домагаються за допомогою пневматичних глушників типів П-Г1, ГП, ПГМ і ПГК.

Сучасне обладнання для електричного контактного зварювання може бути укомплектоване окремими пневматичними блоками типу ПБУ, призначеними для регулювання, контролю, керування подаванням стиснутого повітря та для регулювання швидкості переміщення пневматичних двигунів, до складу яких входять пневматичний і редукційний клапани, манометр, пневматичний розподілювач, дросель та глушник.

Підготовка стиснутого повітря перед подаванням у пневматичну систему (очищення від твердих часток води та масла) здійснюється фільтрами-вологовіддільниками типу БВ та 22-10.

Поверхні пневматичних приводів змащують шляхом впорскування у потік стиснутого повітря розпиленого масла. Для цього застосовують спеціальні маслорозпилювачі типів ЛП, В44 та 2-10.

У складі обладнання сучасного виготовлення використовують і окремі пневматичні блоки підготовки стиснутого повітря типів П-Б16 та П-Б6, які мають фільтр, трилінійний двопозиційний вентиль, маслорозпилювач, манометр і випускний клапан.

Верхній повзун контактних машин рухається у напрямних тертя ковзання чи тертя кочення. Необхідна стабільність зусилля й переміщення електродів забезпечується пружним елементом між штоком і напрямною, його називають компенсатором (найчастіше, пружинним). Комплектуються такі машини трансформаторами типів К, ТВК, ТК, регуляторами циклів зварювання типів РКС, РВИ та РКМ, контакторами типу КТ.

Підвісні однофазні машини для точкового зварювання комплектуються трансформатором, який з'єднується зі зварювальними кліщами або пістолетами гнучким кабелем. Віддають перевагу біфілярним кабелям. Вони характеризуються малою індуктивністю, зрівноваженістю електродинамічних сил і меншими стрибкоподібними змінами струму при вмиканні.

Зварювальні трансформатори броньового типу часто мають кліщі, що помітно зменшує опір вторинного контуру машини. Комплектуються підвісні машини пневматичними, гідравлічними та пневмогідравлічними приводами стискання деталей.

Хід електродів зварювальних кліщів може бути радіальним або прямолінійним.

Цикл зварювання найчастіше керується регуляторами типів РВИ та РКС. Контактори в машинах застосовуються тиристорні типу КТ.

Основний блок машин, який складається з трансформатора, кожуха, апаратури керування й електричного приводу, підвішується до утримуючого обладнання (тельфера або кран-балки) через телескопічну штангу, за допомогою якої встановлюється висота підвішування. До цього ж обладнання кріпляться спеціальним тросом зварювальні кліщі.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Машини нового типу МТП-2402 і МТП-2402-1 з кліщами К0125 та К0126, розроблені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України для зварювання арматури, в будь-якому положенні керуються регуляторами на базі одно-кристальних ЕОМ. Кліщі мають розхил 65 мм, виліт електродів 370 мм. Деталі під час зварювання стискаються зусиллям до 8 кН, робочий хід електродів при цьому дорівнює 98 мм.

У кліщах К0126 на відміну від К0125 вбудовано зварювальний трансформатор на частоту 500–700 Гц, а у вторинному контурі – двоперіодний випрямляч.

Напруга (високочастотна) подається на первинні обмотки трансформатора від інверторного джерела живлення, що розташоване у силовій шафі. Випрямлячами слугують два діоди Д253-4000-1, які кріпляться на колодках вторинного витка трансформатора.

Машини для рельєфного зварювання за конструкцією аналогічні точковим. Вони дають змогу виконувати і рельєфне, і точкове зварювання.

Масивні контактні плити машин для рельєфного зварювання забезпечують закріплення спеціального устаткування.

Для виконання точкового зварювання кожна машина комплектується електродотримачами. Вони кріпляться до лицьових торців плит. Корпус і кронштейни рельєфних машин жорсткіші, ніж точкових.

Пневматичні механізми стискання виконуються посиленого типу з поліпшеними динамічними характеристиками. Поперечне зміщення повзуна у напрямних машин звичайно мінімальне. Іноді такі машини (пристосовані для одночасного зварювання багатьох точок) комплектуються двома зварювальними трансформаторами, увімкнутими паралельно, які розташовують з обох боків корпусу. Комплектуються машини трансформаторами типів ТВК, ТКП, регуляторами циклу зварювання типів РКС, РВИ, РКМ і тиристорними контакторами типу КТ.

Конденсаторні машини забезпечують найменш енергоємне зварювання. Вони характеризуються особливо жорсткими зварювальними імпульсами, їх використовують переважно для зварювання легких сплавів, а також деталей невеликої і нерівної товщини з металів, що мають достатню пластичність.

Особливістю силової мережі конденсаторних машин є наявність двох частин: зарядної та розрядної.

Заряд батареї конденсаторів (типу МБ, ГВ) здійснюється від силового випрямляча, який живиться від трифазної або однофазної мережі. Розряджаються конденсатори на зварювальний трансформатор через тиристорні або електромагнітні контактори. Конденсаторні машини комплектуються трансформаторами типів К, ТНЧ і КН, шафами керування типів ШУ-351, ШК-9 та РКМ-1510.

Регулювання величини і тривалості імпульсу зварювального струму здійснюється у цих машинах зміною напруги зарядки або зміною ємності

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

батареї конденсаторів, а також зміною коефіцієнта трансформації зварювального трансформатора.

Машини шовного зварювання всередині корпусу мають зварювальний трансформатор (типу ТК) і механізм обертання роликів з електроприводом. Привод може мати один або два приводних ролики (в особливо відповідальних випадках).

Регулювання кутової швидкості при використанні електродвигунів може здійснюватись механічними безступеневими варіаторами швидкостей, магнітними і ковзними муфтами. Переривчасте обертання роликів забезпечується механічними системами з використанням «мальтійського хреста», пневматичними приводами з храповим або зубчастим зчепленням або з кроковим приводом з електромагнітною муфтою. У ряді випадків обертання роликів здійснюється шарошками, якими одночасно зачищається робоча поверхня роликів.

У шовних машинах верхній ролик переміщується разом із повзуном від пневматичного приводу механізму стискання. Струмопровідні та силові елементи зварювального контуру шовних машин мають ковзний електричний контакт. Іноді контакт навантажують стискаючим зусиллям (машини малої і середньої потужності). У машинах великої потужності контакт звичайно розвантажений.

У багатьох сучасних машинах передбачено нескладне переналагодження верхньої і нижньої головок для зварювання поперечних і поздовжніх швів обичайок. Машини комплектуються переривниками і блоками керування типів ПК, ПСЛ, БР, ШУ, РКМ, РВИ, тиристорними контакторами.

Машини для стикового зварювання опором подібні за призначенням та будовою до машин для зварювання оплавленням. Від них вони відрізняються потужністю, конструктивним виконанням окремих вузлів, габаритними розмірами та масою.

Однофазні машини стикового зварювання опором мають обмежену потужність, працюють звичайно в автоматичному режимі і використовуються для з'єднання стиків дротів із різними діаметрами із сталей та кольорових металів. З метою поліпшення властивостей металу зварних з'єднань у машинах передбачається можливість здійснення термічної обробки стиків (відпалу) у губках машини.

Машина має корпус-станину, що складається з переднього та заднього стояків, верхньої плити та опорних планок. Силова частина приводів зусилля та переміщення деталей розділяється із напрямними. Роль напрямних можуть виконувати станини, на яких розміщуються рухомі та нерухомі затискачі.

Напрямні (на роликах або кульках) стикових машин забезпечують повільне переміщення заготовок, що зварюються, та жорсткість кріплення рухомого затискача. Це досягається спеціальними пристроями

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

для регулювання, які компенсують зазори, що виникають внаслідок зношування поверхонь від тертя.

Сучасні машини комплектуються зварювальними трансформаторами типів К-4.02, К-5.02, регуляторами циклу зварювання типу РКМ-1501.

Електрична силова частина машини включає в себе пускач, контактор (звичайно електромагнітний), перемикач ступенів потужності, зварювальний трансформатор і вторинний контур.

Для зниження та стабілізації зусиль зварювання в машинах зменшено маси рухомих деталей, а також використовують струмопідводи (що перехрещуються), котрі створюють із одного контуру два з електромагнітними силами, що діють назустріч одна одній.

У деяких машинах деталі підігрівають при малих тисках, осаджують їх при підвищених. Для вмикання і вимикання струму застосовують кнопки, кінцеві або безконтактні вимикачі.

Процес зварювання регулюють за вкороченням деталей або за температурою нагрівання (пірометричними приладами).

Деякі машини комплектуються ножами для обрізування торців дротів перед зварюванням.

Машини для стикового зварювання безперервним оплавленням призначаються для зварювання з попереднім підігріванням або без нього. Виготовляються найчастіше стаціонарними. Машини потребують напруги мережі живлення змінного струму 380 В із частотою 50 Гц.

Машина складається з каркаса, силової частини та електричної системи. Всередині каркаса знаходиться броньовий трансформатор, перемикач ступенів, електромагнітний контактор, автоматичний вимикач, елементи пневматичної схеми, системи охолодження та елементи приводів оплавлення та осадки. Пульт керування закріплюється на корпусі. Шафу керування з електрообладнанням іноді виготовляють окремо.

Машини обладнані ексцентриковими, гвинтовими, важільними, пневматичними, гідравлічними, електричними й електромеханічними механізмами затискання деталей. Програма переміщення рухомого затискача задається важільними, пружинними, електромеханічними, кулачковими, гідравлічними, пневмогідравлічними та електричними механізмами.

Якщо машину використовують також для зварювання опором, то переміщення рухомого затискача звичайно виконується пружинним приводом.

Вмикається струм зварювання кнопками, вимикається – шляховими вимикачами.

У комплект машини входять трансформатори броньового типу та електромагнітні контактори. Усі машини мають вузол коригування положення електродів-губок.

Обладнання для стикового мікрозварювання призначається для з'єднання тонких дротів, деталей приладів різноманітного призначення (радіо- та електроапаратури, годинників, фотоапаратів), для зварювання

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

контактів реле, виводів з клемами контакторів, таврових конструкцій тощо.

Крім елементів звичайних машин стикового зварювання до складу цього обладнання входять зварювальні головки, випрямлячі змінного струму, стабілізатори напруги живлення, конденсаторні батареї, апаратура керування циклом зварювання і переміщення та приводи складально-зварювальних столів, пристроїв і кондукторів, пристрої рихтування дротів.

Рухомі частини машин мікрозварювання часто виготовляють із легких сплавів для зменшення їх маси і сили інерції. Крім цього, для зменшення тертя у них застосовують напрямні з тертям кочення.

Ударна осадка деталей звичайно виконується кулачковими, пружинними й іншими механізмами.

Конденсатори, що використовують в імпульсних машинах контактного зварювання, мають відповідати робочій напрузі 1000–10000 В. Найбільше для цього застосовують паперові конденсатори типу ИМ-0,5-250, метало-паперові та електролітичні типів МБГП-1000-10, КЗ-2Н (450 В, 80 мкФ), К-50-И (400 В, 350 мкФ).

Машини спеціального призначення використовуються для зварювання арматурних стрижнів, ланцюгів, кілець, штабів, стрічок, рейок, труб тощо.

До комплекту постачання цих машин входять пульти керування, шафи силові та керування, станції живлення та гідроприводів. Живлення машин відбувається від мережі змінного струму з напругою 380 В, у польових умовах – від автономних дизельних електростанцій, розрахованих на напругу 400 В, типів ЗСДА, АС та ЗД.

Конструктивно механізми оплавлення виконуються в машинах спеціального призначення гідравлічними з слідкуючими золотниковими системами та пневмогідроакумуляторними, кулачковими та електродвигунними з двигунами постійного струму. Машини з імпульсним оплавленням мають пульсатори. Механізми затискання звичайно гідравлічні.

Потрібний тиск масла у гідросистемах контактних машин із гідроприводами досягається за допомогою зубчастих або поршневих гідронасосів.

У гідравлічних системах використовують гідроциліндри, запобіжні, зворотні та редукційні клапани, гідророзподілювачі, дроселі, золотники та фільтри.

Як робочу рідину гідроустаткування машин контактного зварювання застосовують масло марок «Индустриальное И-20А» або «Индустриальное И-30А» (влітку) і «Индустриальное 12А» (узимку).

Машини комплектуються одним або декількома трансформаторами броньового чи кільцевого типів (у машинах для зварювання) з перемикачами ступенів у первинній обмотці, а також бездуговими електромагнітними або тиристорними контакторами. Забезпечується робота машин у режимах налагоджування, напівавтоматичному та автоматичному.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

У деяких випадках передбачається можливість виконання термічної обробки стиків у губках зварювальної машини. Більшість машин мають пристрої для зняття грату в губках або на окремих пристроях.

До спеціального обладнання належать також машини та установки для зварювання труб. Залежно від конструктивного виконання вони можуть бути зовнішньотрубними для зварювання труб діаметром до 530 мм та внутрішньотрубними для зварювання труб діаметром 1020–2020 мм, стаціонарними та пересувними.

Апаратура керування машин контактного зварювання відтворює у реальному часі програми (циклограми) процесу шляхом подавання (в аналоговій або дискретній формі) керуючих сигналів до технологічних вузлів, які керують приводами та контакторами зварювальних машин.

Комплексну механізацію виробничого процесу, контроль якості зварних з'єднань або діагностування стану зварювального обладнання та зварних з'єднань, крім циклограм регуляторів, програм зварювання, забезпечують елементи керування допоміжними операціями (переміщення, штампування, зачистки електродів тощо).

Регулятори циклу зварювання призначаються для керування циклом зварювання контактних машин через функціональну апаратуру – електропневмоклапани, контактори, реле приводів обертання роликів (безперервне або крокове обертання) або переміщення контактних плит тощо.

Залежно від технологічних вимог (обраних циклограм роботи машин) використовуються однопрограмні або багатопрограмні регулятори часу. Регулятори звичайно мають 4–9 позицій регулювання. Регулятори сучасних конструкцій працюють за аналоговим або дискретно-цифровим принципами.

В однопрограмних регуляторах число позицій та послідовність їх виконання (порядок дії механізмів) завжди залишаються без змін. Вони забезпечують незалежність регулювання тривалості окремих позицій.

У багатопрограмних регуляторах є можливість (при відповідному налагодженні) використовувати зварювальні цикли з різними варіантами зміни зусилля на електродах або форми імпульсів зварювального струму. Послідовність інтервалів та їх чисельність змінюються залежно від визначеної програми. При цьому окремі позиції можуть бути вимкнені. Звичайно в таких регуляторах є декілька паралельних гілок керування, які запускаються від однієї команди.

Будь-який регулятор складається з N комірок відповідно до числа позицій, кожна з яких призначена для регулювання тривалості однієї операції, а в кінці її виробляються сигнали на ввімкнення наступної операції. Суттєва продуктивність сучасних контактних машин вимагає передавання команд за допомогою швидкодіючих безконтактних елементів.

Апаратура керування однофазної машини змінного струму вмонтовується в її корпус. Іноді певні машини комплектуються окремими шафа-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ми керування, переривниками, в яких розташовуються регулятори циклу зварювання, контактори, блоки апаратури тощо.

Розглянемо позначення регуляторів циклу зварювання. Наприклад, у позначенні РКС-501 УХЛ4 регулятора циклу зварювання: Р – регулятор, К – контактний, С – для зварювання, 5 – кількість регульованих позицій зварювання, 01 – реєстраційний номер (модель), УХЛ4 – кліматичне виконання та категорія розташування. Регулятори типу РКС виготовляє завод «СЕЛМА», м. Сімферополь.

У регуляторах типу РВИ (виробник завод «Электрик», м. С.-Петербург), які є аналогами регуляторів РКС, літери означають: Р – регулятор, В – часу, И – на інтегральних мікросхемах.

Регулятори типу РКС входять до комплекту однофазних контактних машин загального призначення.

Регулятор РКС-501 не потребує налагодження на cos φ, регулятор РКС-601 дає можливість вести зварювання у багатоімпульсному режимі. Регулятор РКС-901 забезпечує два імпульси зварювального струму з роздільним регулюванням їх діючого значення.

Регулятори РКС-501 і РКС-901 мають два діапазони регулювання тривалості позиції зварювального циклу. Вихідні площини рознімання регуляторів РКС і регуляторів типу РЦС, що вироблялись раніше, взаємозамінні.

У регуляторах РКС використовується цифровий відлік інтервалів позиції зварювального циклу. Тривалість будь-якої позиції циклу відраховується в періодах частоти напруги живлення (1 пер = 0,02 с).

Дискретність відліку і загальна тривалість усіх позицій можуть бути підвищені вмиканням тумблера «Множник» у 4 рази для регулятора РКС-501 і у 2 рази для регулятора РКС-901.

Тривалість кожної з позиції циклу встановлюється перемикачами барабанного типу з цифрами одиниць та десятків періодів. Перемикачі для регулювання тривалості зварювального струму мають червоний колір.

До складу регулятора типу РКС входить ряд функціональних блоків і вузлів. Основні з них багаторозрядний зсувний регістр позицій циклу зварювання зі схемами керування та узгодження, блок лічильників для рахування часових інтервалів циклу (для регулятора РКС-601) і для відліку числа імпульсів зварювання, блок дешифраторів перетворення подвійного коду від лічильників у десятковий код для узгодження з декадними програмними перемикачами, блок фазового керування зварювальним струмом з його стабілізацією при зміні напруги мережі живлення для регуляторів РКС-601 та РКС-901 і з автоматичним налагодженням на коефіцієнт потужності зварювальної машини і без стабілізації струму в РКС-501.

Кожний регулятор також має системи формування тактів, які виробляють три серії тактових імпульсів для керування лічильниками і

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

регістром позицій, системи встановлення лічильників і регістрів у нульове положення при ввімкненні регулятора у мережу для формування сигналу «Пуск» при натисненні педалі зварювальної машини, системи підсилювачів та індикації.

Крім перемикачів для встановлення тривалості усіх позицій циклу, у регуляторах РКС-501 і РКС-901 на панелі розташовані перемикачі на 10 положень рівня зварювального струму «Нагрівання». У регуляторах РКС-601 і РКС-901 перемикачі також розраховані на 10 положень для регулювання тривалості модуляції переднього фронту пакета імпульсів зварювального струму «Наростання».

Усі регулятори мають тумблери для вмикання «Одиничного зварювання» та «Автоматичного зварювання», а також режиму роботи «Без зварювального струму» або «Зі зварювальним струмом».

Регулятори також забезпечують можливість вимикання машини на будь-якій позиції зварювального циклу. Для цього перемикачі, якими задають тривалість будь-якій позиції, бажано вимкнути. Вони мають бути встановлені у положення «0» (мал. 18.9).

Вмикаються й вимикаються з мережі живлення контактні машини спеціальними пристроями – контакторами. Залежно від призначення машини, потрібної надійності і якості зварних з'єднань використовують електромагнітні або вентильні (тиристорні, ігнітронні) контактори.

Електромагнітні контактори звичайно використовуються в машинах стикового зварювання. В сучасних машинах для інших способів контактного зварювання найчастіше застосовуються тиристорні контактори. В деяких машинах великої потужності встановлюються ігнітронні контактори, ланцюги запалювання яких мають тиристори.

Вітчизняна промисловість виготовляє тиристорні контактори типу КТ. Керування контакторів імпульсне. Вони працюють тільки з регуляторами, що мають фазоімпульсні вихідні пристрої і забезпечують фазове регулювання і синхронне ввімкнення струму.

Тиристори для контакторів вибирають з урахуванням потужності навантаження та напруги мережі живлення, виходячи з припущення, що тривалість увімкнення (ТВ) завжди становить 100 % від загального часу роботи.

Діючий первинний струм машини залежить від середнього номінального струму тиристора, за яким він маркується: $I_{1д} < 2{,}22I_{сер}$.

Внаслідок малої теплоємності тиристори і симистори чутливі до перегрівання. Тому контактори мають водяне охолодження (окрім контакторів КТ-05, КТ-07 і КТ-09), контрольні пристрої, які обмежують зростання температури вище 60°С, а також варіатор для захисту від можливих перенапружень.

Блокування зварювальної машини при перевантаженнях у контакторах здійснюється гідравлічними струменевими реле типу РГС або термодатчиками типу ДРТ-60 або ДРТ-Б-60.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Тиристорними контакторами комплектується переважна більшість машин точкового, рельєфного шовного зварювання завдяки простоті їх схем увімкнення в мережу живлення, малим силам струму керування тиристорами, можливостям фазового регулювання діючої сили зварювального струму, а також завдяки тому, що в їх складі немає механічних частин тощо.

Встановлюються контактори в машинах вертикально. Ребра радіаторів тиристорів при цьому розташовані теж вертикально. Не допускається нагрівання тиристорів сторонніми джерелами тепла. Сумарна площа вентиляційних отворів для кожного радіатора має бути не меншою 50 $см^2$.

При виборі типу контактора для зварювальної машини потрібно, щоб найбільша величина струму комутування у первинній обмотці зварювального трансформатора при тривалому ввімкненні (10 хв і більше) у найбільш важкому режимі, який відповідає останньому ступеню трансформатора, найбільшій ТВ і тривалості імпульсу, не перевищувала гранично допустимого струму контактора у тому ж режимі ввімкнення.

У машинах і установках стикового зварювання оплавленням для увімкнення зварювальних трансформаторів звичайно використовуються електромеханічні контактори, в яких тривалий струм не перевищує кількох сотень ампер, а струм комутації менший 1000 А.

Порівняно з тиристорними електромеханічні контактори мають невисоку надійність, низьку швидкодію, малу довговічність, масивні, їх ККД нижчий.

Трансформатори контактних машин використовують для відокремлення зварювальної мережі від силової, зниження напруги мережі до потрібної для зварювання, а також для отримання зварювального струму необхідної сили.

Позначення типів зварювальних трансформаторів включають у себе літерну та цифрову частини. Літерна відображає вид трансформатора, кількість фаз, рід та частоту струму або конструктивні особливості. Цифрова частина характеризує енергетичні параметри: силу вторинного номінального струму $I_{2н}$, кА, вторинну напругу холостого ходу на номінальному ступені регулювання $U_{2н}$, В, або мале номінальне значення тривалого вторинного струму (в кілоамперах), реєстраційний номер або номінальну потужність при ТВ = 50 %. Далі у цифровій частині вказується номер модифікації трансформатора або особливості його виконання (з обмотками, залитими епоксидним компаундом – ЕП(К)) та вид виконання і категорія розміщення.

Наприклад, трансформатори, що виготовляє Хмельницький завод «Укрелектроапарат», позначаються так: ТВК-75УХЛ4, де Т – трансформатор, В – з водяним охолодженням, К – для контактного зварювання, 75 – номінальна потужність, кВ · А, при ТВ = 50 %, УХЛ4 – вид кліма-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

U_1 Первинна напруга	U_2 Вторинна напруга	Вимкнено	Аварійний стан	Увімкнено	Підготовлено до зварювання	Злив	Охолодження Вхід рідини	Мережа
Ланцюг керування	Манометр	Одинарний цикл	Автоматична робота (серія зварювань)	Точкове зварювання	Рельєфне зварювання	Обтискання	Стискання	Час
Додатковий хід	Зусилля (1) обтискання	Зусилля (2) кувальне	Струм увімкнено	Кількість імпульсів	Модуляція струму за переднім фронтом	Фазове регулювання	Повнофазний струм	Час у періодах
cos φ Номінальний кут умикання пристрою до контактора	Пауза	Тривалість проковування	Охолодження	Швидкість шовного зварювання	Шовне зварювання пульсуючим струмом	Шовне зварювання безперервним струмом	Тиск на шарошки (у машинах шовного зварювання)	Імпульс струму
Тиск на шарошки знято (шовне зварювання)	Зусилля стискання з підпором	Зусилля стискання без підпору	Повільне регулювання	Напрям руху	Пульт дистанційного керування	Ручне керування, налагодження	Заземлення	Імпульс струму з модулюючою заднього фронту

Мал. 18.9. **Умовні позначення, що використовуються в обладнанні для контактного зварювання**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тичного виконання та категорія розміщення. Модель ТК-32.08-2 ЕП(К) розшифровується так: Т – трансформатор; К – контактний; 32 – номінальний вторинний струм, кА; 08 – номінальна вторинна напруга, В; 2 – номер модифікації; ЕП(К) – блок обмоток залито епоксидним компаундом. Трансформатор ТНЧ-69.09: Т – трансформатор; НЧ – низької частоти; 69 – максимальна сила зварювального струму, кА; 09 – вторинна номінальна напруга, В. Моделі ТКПА-8.08-4: Т – трансформатор; К – контактний; П – підвісний; А – матеріал вторинного витка алюміній; а далі так, як у першому прикладі. Наводимо інші позначення: ТТ-63.05-ЕП (ТТ – трансформатор трифазний); КН-80.164 (К – трансформатор контактний, Н – низької частоти); ТВТ-40.04 (Т – трансформатор, В – з випрямленням струму, Т – трифазний і далі, як у першому прикладі).

Трансформатори нової серії позначаються ТК-301, ТК-302, ТК-401, ТК-501 і розшифровуються так. Наприклад, ТК-301УХЛ4: Т – трансформатор; К – контактний; 3 – тривалий вторинний струм на одному витку, кА; 01 – реєстраційний номер; УХЛ4 – вид кліматичного виконання.

Відомо, що ці характеристики впливають на технологічні можливості зварювального обладнання (діапазон регулювання вторинної напруги та струму, зовнішні вольт-амперні та навантажувальні характеристики, запас «стійкості» для збудження оплавлення для стикового зварювання оплавленням тощо).

Трансформатори контактних машин складаються, як і інші трансформатори, з магнітопроводу (найчастіше броньового типу), первинних та вторинної обмоток. Магнітопроводи броньового типу виготовляють з електротехнічних гарячекатаних або холоднокатаних сталей зі спеціальними електроізоляційними покриттями.

Завдяки своїй конструкції трансформатори броньового типу відрізняються від інших меншими потоками магнітного розсіювання і масою, забезпечують надійне закріплення обмоток на магнітопроводі тощо.

Первинні обмотки таких трансформаторів звичайно дискові. Виготовляються вони з обмоткової міді, наприклад, марок ПВД, ПСД або з алюмінію марок АПСД, АПВД тощо. Обмотки поділені на секції. Виводи від частин – секцій первинних котушок – можуть підключатися до мережі живлення послідовно, паралельно або послідовно-паралельно за допомогою спеціальних пристроїв-перемикачів ступенів для регулювання коефіцієнта трансформації (вторинної напруги та вторинного струму).

Перемикачі ступенів за конструкцією розрізняють штепсельного (ПШ) і барабанного (ПБ) типів, а також пластинчасті або з використанням звичайних пакетних перемикачів.

Вторинні витки виготовляють у вигляді плоских мідних чи алюмінієвих дисків, що з'єднуються між собою паралельно.

Звичайно в конкретних трансформаторах передбачається один або два вторинних витки.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

У машинах стикового зварювання труб використовують трансформатори кільцевого типу з рознімними або нерознімними магнітопроводами.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає суть електричного контактного зварювання?
2. За якою формулою визначається теплова потужність процесу точкового зварювання?
3. Чому зварна точка утворюється саме на границі зварюваних деталей, а не на границях «електрод-деталь»?
4. Як підготувати деталі до зварювання?
5. Які вимоги висуваються до електродів, що застосовуються для контактного зварювання?
6. З яких сплавів виготовляють електроди?
7. Яке значення має форма робочої поверхні електрода?
8. Що таке виплеск, як йому запобігти?
9. Як побудована циклограма процесу зварювання і як нею користуватися?
10. Що таке м'який і жорсткий режими зварювання?
11. Коли використовують одностороннє зварювання?
12. Яке призначення шумопоглинальних матеріалів (ШПМ) при зварюванні?
13. Чим відрізняється точкове зварювання від рельєфного? Де використовують останнє?
14. У чому полягає принцип шовного зварювання?
15. Як складають деталі для шовного зварювання, щоб запобігти жолобленню і серповидній деформації?
16. Як користуватися циклограмою шовного зварювання?
17. Як вибирають параметри режиму шовного зварювання?
18. У чому полягає суть стикового контактного зварювання опором?
19. У чому полягає суть стикового контактного зварювання оплавленням?
20. Як користуватися циклограмою стикового зварювання опором або оплавленням?
21. Як визначають параметри режиму стикового зварювання опором і оплавленням?
22. Які галузі використання стикового зварювання?
23. З яких складових будується обладнання для електричного контактного зварювання?
24. Які функції виконують окремі прилади керування процесом електричного контактного зварювання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 19

ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ ШВІВ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Згідно з **ДСТУ ISO 3834:2008**, «Частина 1. Критерії для вибирання відповідного рівня вимог до якості», **ДСТУ ISO 3834-2:2008**, «Частина 2. Всебічні вимоги до якості», **ДСТУ ISO 3834-3:2008**, «Частина 3. Типові вимоги до якості», **ДСТУ ISO 3834-4:2008**, «Частина 4. Елементарні вимоги до якості», **ДСТУ ISO 3834-5:2008**, «Частина 5. Документи, вимоги яких потрібно виконувати для підтвердження відповідності ISO 3834-2, ISO 3834-3 або ISO 3834-4», вимоги до продукції, регламентовані відповідними нормами чи організацією, яка встановлює їх такими, що мають задовольняти потенційного замовника, містять відомості щодо спроможності виробника виготовлювати продукцію регламентованої якості. Остання не повинна залежати від типу продукції, місця її виготовлення (в цеху чи на будівельному майданчику), а стандарт встановлює здатність виробника виготовляти елементи конструкцій у відповідності регламентованим нормам і є базисом для оцінювання зварювально-технічних здібностей виробника.

Відповідний рівень вимог до якості залежно від типу конструкції визначається наведеними нижче критеріями:

– обсяг і значення критичного показника надійності щодо конструкції;

– багатоплановість виробника;

– номенклатура виготовлюваних конструкцій;

– номенклатура використовуваних матеріалів;

– обсяг операцій, у яких можуть бути наявні металургійні проблеми;

– обсяг операцій, у яких недоліки виготовлення, наприклад, зсув чи перекіс, недосконалості зварного шва, впливають на виробництво конструкцій.

Виробник повинен мати у своєму розпорядженні компетентний персонал у достатній кількості для забезпечення планування, виконання і нагляду у зварювальному виробництві відповідно до встановлених вимог: сертифіковані зварниками і оператори зварювального устаткування, персонал для координації зварювальних робіт та здійснення контролю та випробування, необхідне устаткування.

Він здійснює планування виробництва, готує технологічні і робочі інструкції, контролює основні зварювальні матеріали, умови і випробування перед і під час зварювання, відповідає за належне калібрування або атестування вимірювального, контрольного і випробувального устаткування.

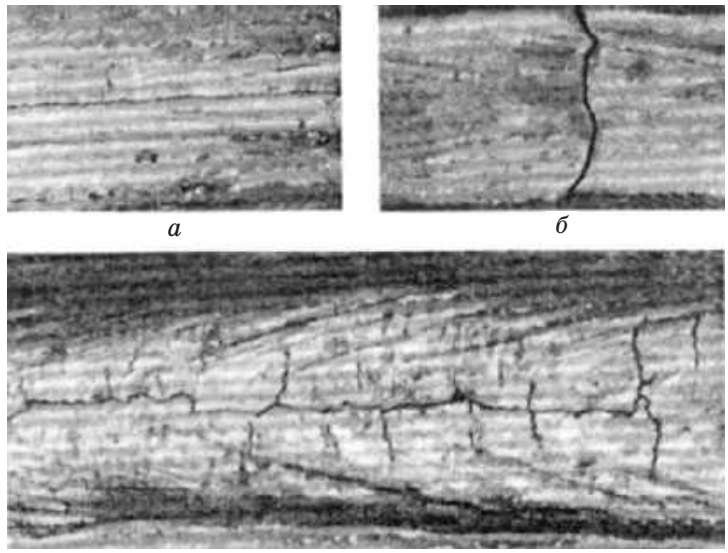
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

19.1. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ

Експлуатаційна надійність і економічність металоконструкцій визначається якістю їх виготовлення. Наявність різних дефектів може не лише погіршувати працездатність конструкції, але й призводити до створення аварійних ситуацій. Дефекти виникають внаслідок використання некондиційних основних і зварювальних матеріалів, низької кваліфікації кадрів, невідповідних умов праці, поганого технічного стану обладнання й оснащення – усього того, що визначає технологічну культуру виробництва даного підприємства.

Зовнішні і внутрішні дефекти зварних з'єднань пов'язані з металургійними, термічними, гідродинамічними процесами утворення, формування і кристалізації зварювальної ванни, її охолодження, з формуванням зварних швів.

Кристалізаційні або гарячі тріщини з'являються при твердінні зварювальної ванни – тоді, коли метал перебуває у твердо-рідинному стані, тобто в інтервалі температур «ліквідус-солідус». Вони розвиваються при подальшому охолодженні металу. Твердіння його супроводжується дією розтягуючих напружень, що виникають внаслідок нерівномірного нагрівання та охолодження, жорсткого закріплення деталей і затрудненого скорочення металу шва в процесі охолодження. Кристалізаційні тріщини мають різну направленість (мал. 19.1).



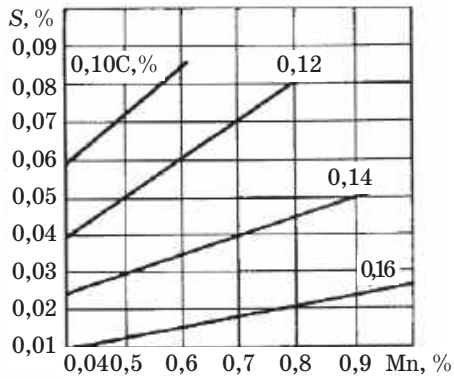
Мал. 19.1. **Кристалізаційні тріщини в металі шва:**
а – поздовжні; *б* – поперечні; *в* – змішані

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Температурний інтервал крихкості залежить від хімічного складу металу шва. В першу чергу стійкість проти гарячих тріщин знижують шкідливі домішки – сірка і фосфор, які утворюють легкоплавкі сульфідні і фосфідні прошарки на межах кристалітів металу шва, що ростуть. Тому їх вміст в електродних матеріалах обмежують 0,02–0,04 % S і 0,03–0,06 % P.

Вуглець знижує стійкість, посилюючи дію сірки, тому при зварюванні середньовуглецевих сталей використовують низьковуглецеві дроти, додатково легують метал шва кремнієм, марганцем і хромом і знижують частину основного металу в шві.

Марганець – корисна домішка, при вмісті до 1,8 % зменшує шкідливу дію сірки, зв'язуючи її в тугоплавкий сульфід марганцю (мал. 19.2).



Мал. 19.2. **Залежність імовірності утворення тріщин від вмісту сірки, марганцю і вуглецю в металі кутового шва з коефіцієнтом форми провару 1,5 (поле вище кривої відповідає наявності тріщин, нижче – їх відсутності)**

Важливу роль відіграє форма зварювальної ванни, зварного шва і її показник – коефіцієнт форми провару

$$\psi_{\text{пр}} = \frac{b}{h},$$

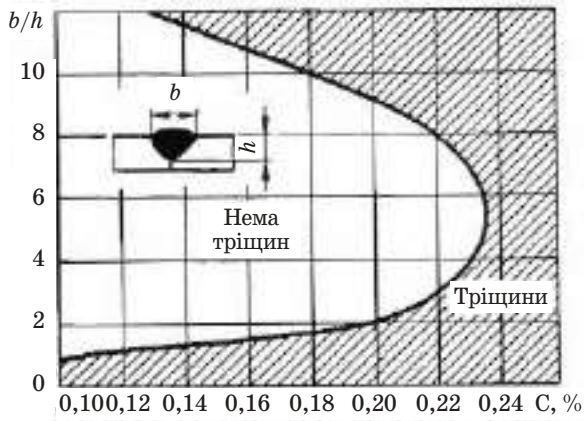
де b – ширина шва; h – глибина провару.

При вузькому і глибокому проварі ψ = 0,8...1,2 кристаліти ростуть назустріч один одному і, зростаючись, заважають спливанню легкоплавких сполук, які залишаються всередині шва. Зі збільшенням коефіцієнта ψ до 2–5 кути зростаючих кристалітів стають гострішими, і компоненти евтектики можуть спливати наверх ванни. Вказане значення ψ може бути прийняте за оптимальне (мал. 19.3).

Збільшення стійкості проти гарячих тріщин забезпечується подрібненням первинної структури, внаслідок чого зменшується

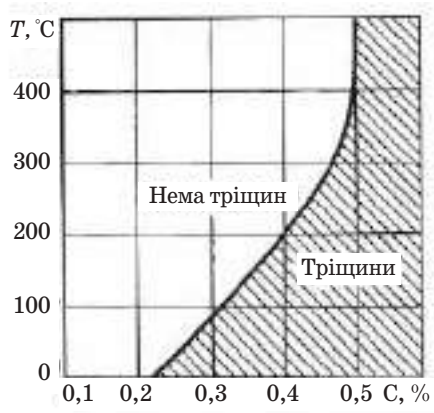
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ступінь хімічної неоднорідності, тобто зменшенням концентрації шкідливих домішок на границях кристалітів. Це досягається введенням у зварювальну ванну елементів-модифікаторів – титану, рідкоземельних металів, з яких утворюються у рідкому металі дрібнесенькі тугоплавкі часточки, що стають зародками кристалітів.



Мал. 19.3. **Залежність коефіцієнта форми провару від критичного вмісту вуглецю в металі шва**

Оскільки розтягуючі напруження неможливо повністю усунути, потрібно їх зменшити. Для цього вибирають оптимальну форму розчищення, зменшують кількість і скупчення швів і жорсткість закріплення, використовують попереднє підігрівання (мал. 19.4).

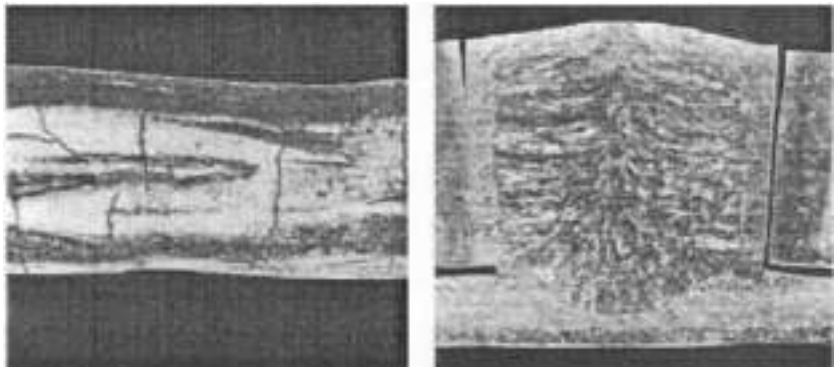


Мал. 19.4. **Залежність температури попереднього підігрівання від критичного вмісту вуглецю в металі шва**

Холодні тріщини виникають внаслідок утворення структур, що гартуються. Це характерно для зварювання мартенситних і перлітних ста-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

лей, а також при надмірному вмісті водню. Найчастіше тріщини виникають у пришовній зоні, рідше – в металі шва (мал. 19.5, *а*), а також у пришовній зоні у вигляді відколів (мал. 19.5, *б*).



а *б*

Мал. 19.5. **Поперечні холодні тріщини в металі шва (*а*) і відколи в пришовній зоні (*б*)**

Особливістю холодних тріщин є те, що вони можуть з'являтися і через кілька хвилин після зварювання, і через кілька десятків діб. Останнє пов'язують з надмірним вмістом водню в металі шва, тому в деяких зарубіжних стандартах, передбачено, що максимальний вміст водню не має перевищувати 5–15 $см^3$ на 100 г. *Схильність до утворення холодних тріщин можна зменшити попереднім підігріванням конструкції та її уповільненим охолодженням.*

Такий дефект як пористість виникає при кристалізації металу внаслідок виділення газів зі зварювальної ванни. Пори можуть бути як внутрішніми, так і виходити на поверхню шва (мал. 19.6).

Причиною виникнення пор є водень, азот і окис вуглецю, які не встигають виділитися при кристалізації і внаслідок малої розчинності у твердому металі заповнюють його у вигляді бульбашок. Збільшена швидкість кристалізації, характерна для міді, алюмінію, сприяє розвитку пористості, в той час як ***зменшення швидкості зварювання, збільшення об'єму зварювальної ванни, зменшення тепловідводу в основний метал, підвищення його початкової температури знижують швидкість кристалізації – і сприяють зменшенню пористості.***

Неметалеві вкраплення являють собою оксидні, нітридні, сульфідні і фосфідні включення. Їх утворення зумовлене вмістом газів і шкідливих домішок як в основному, так і в електродному металах. Вони не є дефектами зварних швів, проте включення особливо негативно впливають на пластичні і динамічні властивості через утворення плівок, евтектик, виділень на границях зерен. Вкраплення є концентраторами напружень, вони сприяють утворенню гарячих і холодних тріщин, старінню тощо,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тому висуваються вимоги меншого вмісту шкідливих домішок в електродних матеріалах порівняно з основними.

а

б

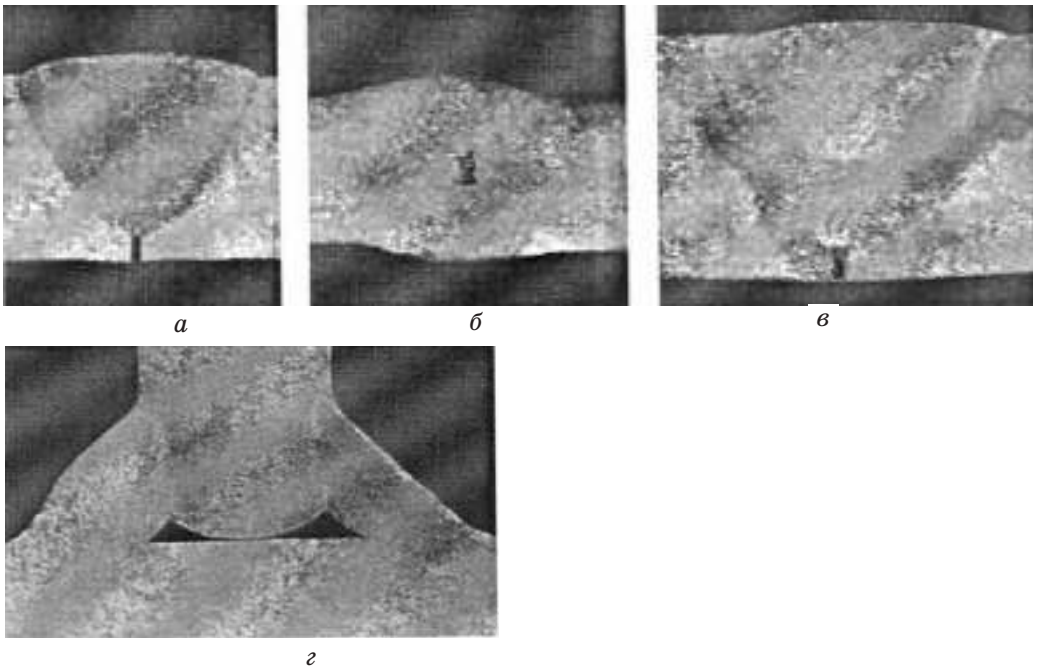
в

Мал. 19.6. **Різновиди пор у зварному шві:**
а – поверхневі; *б* – внутрішні; *в* – групові

Непровари – місцеве несплавлення двох зварюваних кромок як між основним металом і швами, так і між окремими шарами при багатошаровому зварюванні (мал. 19.7).

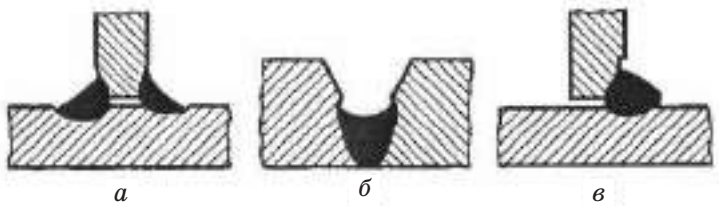
Непровари зменшують переріз шва, можуть бути концентраторами напружень, іноді у пустоти затікає шлак, утворюючи шлакові вкраплення (мал. 19.7, *б*). ***Причиною цього дефекту*** є зменшення сили струму, неточне розміщення електрода відносно осі шва, неправильна послідовність накладання швів при багатошаровому зварюванні, неправильне відновлення процесу зварювання після зміни електрода при ручному зварюванні, підвищення швидкості зварювання тощо, тобто на якість суттєво впливає кваліфікація зварника і сумлінність виконання ним своїх обов'язків.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 19.7. **Непровари по товщині металу при одношаровому зварюванні однобічного (*а*), двобічного (*б*) і по кромці (*в*) стикового шва, а також у вершині кута кутового шва (*г*)**

Підрізи – місцеві зменшення товщини основного металу на межі зі швом. Утворюються при зварюванні стикових і кутових швів (мал. 19.8).

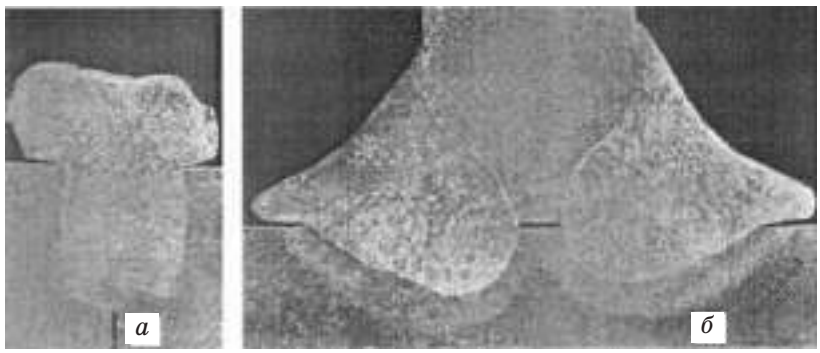


Мал. 19.8. **Двобічні підрізи при зварюванні кутових швів (*а*); першого шару багатошарового стикового шва (*б*) і однобічний підріз з напливом на другу кромку при зварюванні кутового шва (*в*)**

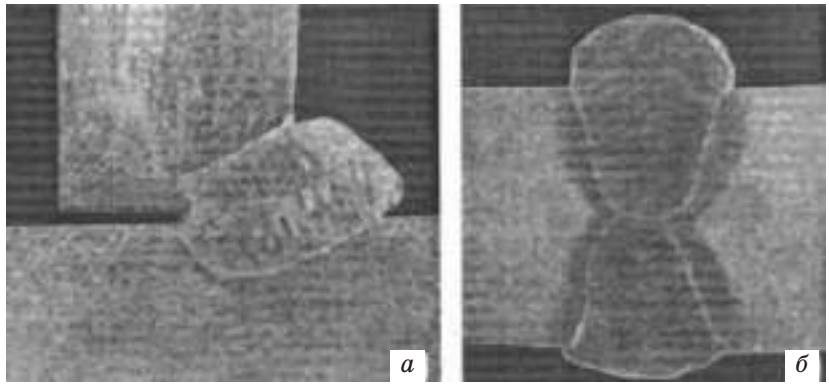
Причиною їх виникнення є надмірна напруга дуги, неправильне положення електрода відносно осі шва, погане розтікання металу тощо. Підрізи є концентраторами напружень, вони зменшують розрахунковий переріз шва і суттєво погіршують вібраційну міцність металоконструкції. При невеликих розмірах (до 1–2 мм) їх усувають механічною обробкою, при більших – заплавляють швом достатнього перерізу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Напливи – це натікання розплавленного металу на поверхню основного металу без сплавлення з ним. Напливи (мал. 19.9) і горбистість (мал. 19.10) *виникають внаслідок* надлишкового розплавлення металу при неправильному виборі параметрів режиму зварювання і незадовільній підготовці поверхні.



Мал. 19.9. **Напливи при зварюванні швів:**
а – стикового; *б* – кутових



Мал. 19.10. **Горбистість при зварюванні швів:**
а – кутового; *б* – стикового

Напливи і горбистість є концентраторами напружень, у зазорі можуть інтенсивно йти корозійні процеси, які прискорюють руйнацію виробу. Для попередження цих дефектів треба коригувати параметри режиму зварювання і розчищати кромки для розміщення зайвого металу.

Шлакові включення і канали – заповнені і незаповнені шлаком порожнини, що виникають при непроварах, підрізах, великих зазорах, залишках неочищеної шлакової кірки тощо. При перевищенні допустимих розмірів підлягають вирубці і повторному зварюванню.

Кратери – поглиблення, утворені внаслідок усадки металу в кінці шва при обриві дуги. В них концентруються забруднення зварювальної

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

вании, дірчастість, тріщини тощо. Вони зменшують розрахунковий переріз шва, є концентраторами напружень, тому підлягають обов'язковому видаленню. При автоматичному зварюванні їх розміщують на вивідній планці, яка разом з кратером вирізається після зварювання. При ручному і напівавтоматичному зварюванні кратер ретельно заварюють, процес припиняють, обриваючи дугу на завареній ділянці шва. Існують і спеціальні пристрої для заварювання кратера, наприклад, в автоматах для автоматичного зварювання неплавким електродом.

Пропали – порожнини у шві внаслідок витікання металу зварювальної ванни. Виникають при надмірному зварювальному струмі, особливо, при зварюванні тонкостінного металу, при збільшенні зазору внаслідок поганої підготовки кромок під зварювання. Ці дефекти недопустимі, потрібне повторне зварювання.

19.2. ДОПУСТИМІ РОЗМІРИ ДЕФЕКТІВ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЯХ ЗАГАЛЬНОБУДІВЕЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Зовнішні дефекти (невідповідність шва заданим геометричним розмірам, підрізи, напливи, тріщини, пори, шлак на шві, незаплавлені кратери, видимі непровари, горбистість, бризки металу, пропали) можуть бути виявлені при зовнішньому огляді й обмірюванні зварних швів; внутрішні дефекти (пори, тріщини, непровари, шлакові вкраплення) – лише за допомогою спеціальних методів і приладів.

Ступінь допустимості дефектів зварного виробу регламентується технічними умовами на його виготовлення, а при виготовленні виробів загальнобудівельного призначення – відповідними Державними будівельними нормами, узгодженими з ДСТУ ISO 5817:2016, «Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів». Деякі дефекти, описані у ДСТУ ISO 6520-1, можуть бути розглянуті прямо, а деякі можуть бути згруповані разом. Метою цього стандарту є визначення розмірів типових дефектів, які можуть бути передбаченими у виробництві і слугувати рівнем якості при виконанні зварних з'єднань. У кожному разі рівень якості є необхідною складовою при використанні стандарта відповідальним проектантом, технологом при спілкуванні з виробником, користувачем або іншими заінтересованими особами.

Вибір рівня якості залежить від проектної розробки, подальших процесів (оброблення), умов роботи (статичне, дінамічне, температура, середовище) та наслідки руйнування. Важливі також і економічні фактори, які включають не тільки вартість зварювання, але також контроль, випробування та ремонт.

Установлені 3 рівні якості, які позначені літерами В, С і Д. Якість рівня В відповідає найвищим вимогам до закінчених зварювальних робіт.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

19.3. ДЕФЕКТИ ШВІВ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ЕЛЕКТРИЧНИМ КОНТАКТНИМ ЗВАРЮВАННЯМ

Дефектами з'єднань є неприпустимі відхилення розмірів деталей, точок, швів, відстаней між ними, зовнішні і внутрішні виплески, глибокі вм'ятини, підплавлення і тріщини, зовнішні та внутрішні пропалювання та вириви точок, налипання металу електродів на поверхні деталей, непровари, вихід литого ядра на поверхню деталей тощо.

Найпоширеніші дефекти точкового, шовного і рельєфного зварювання, їх ознаки і способи усунення наведено у табл. 19.1.

Іноді для усунення дефектів у вигляді пропалин та глибоких вм'ятин на сталевих деталях виконується підварювання на точкових машинах із підсипанням під електроди залізного порошку чи виконанням додаткових точок, заклепок або підварюванням деталей дуговим способом у середовищі аргону чи вуглекислого газу.

Допустимі виправлення дефектів звичайно наводяться в технічній документації на виріб.

При стиковому зварюванні з опором найчастіше не вдається повністю усунути окисли зі стиків. Тому міцнісні характеристики зварних з'єднань нижчі порівняно з основним металом.

Оптимальні умови стикового зварювання оплавленням забезпечують показники міцності і пластичності стику, близькі до основного металу.

Основними дефектами є непровари, пухкості, викривлення волокон, розшарування, а також небажані зміни структури (табл. 19.2). Виникнення будь-яких дефектів у стиках пов'язані з відхиленнями від технології їх формування.

Якість з'єднань, що виконуються точковим, рельєфним, шовним та стиковим зварюванням, залежить, головним чином, від стабільності таких факторів, як коливання напруги мережі живлення, параметри режиму зварювання, надійність роботи обладнання, знос робочих поверхонь та співвісність електродів, шунтування струму, коливання товщини деталей, зміщення кромок стиків, чистота поверхонь електродів і деталей у місці зварювання, розміри зазорів між деталями тощо.

У зв'язку з тим, що формування з'єднання відбувається у недосяжній для контролю зварником зоні, якість з'єднань оцінюється часто за сукупністю діючих факторів. До них належать сила зварювального струму у вторинному контурі машини, електричний опір зони зварювання між електродами, падіння напруги між електродами тощо. Наприклад, зварювальний струм (його амплітудне або діюче значення) вимірюється магніто-електричними або катодними осцилографами з датчиком Холла типу ПХ602, спеціальними приладами типу АСУ-1М, ИТ-02, ИТ-03, які укомплектовані тороїдальними датчиками. Для безперервної реєстрації зварювального струму використовують прилади типу

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 19.1

Дефекти зварних з'єднань, виконаних точковим, шовним і рельєфним зварюванням

Дефект	Зовнішні ознаки. Способи виявлення	Причини виникнення дефектів	Способи усунення
Зовнішні виплески	Нерівні поверхні точок, значне їх окислення. Зовнішній огляд	Забруднення поверхонь деталей та електродів у контакті «електрод–деталь». Недостатнє зусилля зварювання; завелика сила струму зварювання. Недостатня тривалість попереднього стискання деталей. Перекіс деталей між електродами	Правильне програмування тиску, часу та струму. Заточування поверхонь електродів та зачистка деталей
Внутрішні виплески	Порушення режимів нагрівання та деформування деталей	Підвищення тиску до кінця зварювання. Зменшення струму і тривалості зварювання	Застосування електродів із додатковим обтисканням деталей. Модуляція заднього фронту струму зварювання. Використання пластичних прокладок між деталями
Надмірні вм'ятини від електродів	Глибокі вм'ятини на поверхнях деталей. Зовнішній огляд. Вимірювання глибини вм'ятини	Діаметр робочої частини електрода менший, ніж потрібно. Завищені сила струму та тривалість зварювання. Перекіс деталей та електродів, неправильні їх положення. Надмірне зусилля на електродах під час проковки. Внутрішні виплески	Допускається дугове підварювання
Пропалювання деталей	На тонких деталях є голчасті отвори, на товстих – виплавлення металу. Зовнішній огляд	Несправність зварювального обладнання. Вмикання зварювального струму до повного стискання деталей електродами. Великі зазори. Обмеження ходу електродів. Забруднення поверхонь деталей	Допускаються постановка заклепок або використання дугового зварювання

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 19.1

Дефект	Зовнішні ознаки. Способи виявлення	Причини виникнення дефектів	Способи усунення
Зміщення точок	Нерівномірна відстань між точками, відхилення їх від осі. Застосування вимірювального інструменту	Недостатня кваліфікація робітника	Зварювання доручити робітнику вищої кваліфікації
Розриви та зовнішні тріщини у металі з боку напустки	Зовнішній огляд	Шов розташований дуже близько до краю напустки	Дугове зварювання
Негерметичність	Перевірка герметичності	Повторне зварювання по дефектному відрізку	Видалення дефектного шва механічним способом, далі – дугове зварювання
Гофри та жолоблення деталей	Нерівні поверхні деталей. Зовнішній огляд	Неправильні складання та послідовність постановки точок, відсутність прихоплювачів. Надмірна відстань між ними. Неспіввісність електродів. Нерівномірне нагрівання й охолодження деталей	Виправлення прокаткою. Дугове підварювання
Відхилення розмірів деталей	Завищені допуски на лінійні розміри деталей. Руйнування осей електродів. Огляд та вимірювання	Неправильне складання або розташування між електродами. Погане центрування електродів	Виправленню не підлягають, іноді виправляють з підігріванням
Непровари	Відсутність зварювання, малий діаметр (ширина) ядра, точки (шва). Зовнішній огляд. Технологічна проба	Збільшено розміри (діаметр) робочої частини електродів. Недостатні струм або тривалість зварювання. Шунтування струму, великі зазори. Проковування починається до того, як вимикається струм зварювання	Допускається повторне зварювання та виконання додаткових точок
Вириви	Замість точок виникають отвори. Зовнішній огляд	Великий натяг через помилки у складанні та виправленні. Передчасне зняття зусилля з електродів	Допускається ставити додаткові заклепки або використовувати дугове зварювання

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 19.2

Дефекти стикового зварювання, причини їх виникнення і способи визначення

Дефект	Зовнішні ознаки. Способи виявлення	Причини виникнення дефектів
Непровари, матові плями, надриви	Недостатня пластична деформація. Немає загальних зерен на частині стику. Іноді зовнішніх ознак немає. Зовнішній огляд, злом	Окислення металу внаслідок відхилень швидкостей оплавлення й осадки струмового режиму при оплавленні, вимикання струму до початку осадки. Малий припуск на оплавлення. Мала тривалість осадки під струмом
Перегрів, перепалення, підплавлення країв зерен	Надзвичайно велика зона термічного впливу. Поперечні тріщини у витиснутому металі. Тріщини, завелике зерно, раковини. Зовнішній огляд, металографічні дослідження, злом	Великі припуски на оплавлення. Недостатня швидкість оплавлення. Малий припуск на осадку. Надмірне нагрівання при зменшенні швидкості осадки; збільшена тривалість осадки під струмом
Підгар поверхонь деталі	Окислення або підплавлення поверхонь деталей у контакті з губками. Раковини і тріщини в місцях підгару. Зовнішній огляд	Недостатня величина робочої поверхні електродів. Надмірний знос губок та зміна їх форми або розмірів деталі. Недостатнє зусилля затискання деталей у губках. Низька тепло- й електропровідність металу губок. Бруд на деталях або електродах
Тріщини	Тріщини. Огляд через лупу з травленням або без нього	Велика тривалість осадки під струмом. Пружне деформування деталей затискачів та механізмів осадки і відхід плити назад з затисненими деталями
Розшарування	Надмірне скривлення. Злом, металографічні дослідження	Ліквація і розшарування металу деталей
Зміщення торців	Відхилення від встановлених допусків. Зовнішній огляд, металографічні дослідження	Викривлення кінців деталей – недостатня жорсткість затискачів і плит машини, люфти в напрямних. Перекіс, неправильне скріплення електродів, знос електродів. Мале зусилля затискання деталей. Деформація деталей під час затискання. Збільшення встановлювальної довжини деталей
Відхилення розмірів	Підвищені допуски на довжину і діаметр деталей	Недотримання тривалості підігрівання, величини припусків на осадку, напруги холостого ходу машини

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КАСТ-2М, КАСТ-1М, ИСТ-1 (для машин шовного зварювання), СТ-67 та ін. Тривалість струму визначають приладами типу ИВ-01, СИ-2 та ін.

Зусилля на електродах вимірюються динамометрами ПД-50, ПД-100, ПД-500 та ін. Для контролю і документальної фіксації технологічних параметрів стикового зварювання використовують багатоканальні самописні прилади типу Н327, Н338.

Активний опір деталей, а також вторинного контуру зварювальних машин визначають мікроомметрами типу Ф-415 або М-246 і ПСХ-1.

Робочу поверхню електродів для точкового, рельєфного і шовного зварювання контролюють спеціальними шаблонами, у стикових машинах – калібрами.

У процесі зварювання робітник-зварник контролює якість виробів візуально. Він виявляє виплески, пропали, зовнішні тріщини, розриви та роздавлені краї, частково оплавлені поверхні, кількість та місце розташування точок і швів, розміри зони термічного впливу, вихід литого металу на поверхню деталі, перехід металу електродів на поверхні деталей і навпаки, завеликі зазори між деталями, нерівномірність потовщення та гратоутворення навколо стиків тощо.

Якість зварних з'єднань контролюють також (в автоматизованому та роботизованому виробництвах) за узагальненими параметрами. Для точкового, рельєфного і шовного зварювання такими параметрами є теплове розширення металу в зоні зварювання, що спричинює переміщення рухомої частини машини (дилатометричний ефект), теплове та акустичне випромінювання із зони зварювання або зміна інтенсивності ультразвукових коливань, які пронизують метал деталей від одного електрода до іншого.

При стиковому зварюванні як узагальнені параметри використовують частоту пульсацій струму в первинній мережі живлення зварювального трансформатора під час руйнування рідких перемичок у процесі оплавлення, температуру деталей у місці зварювання (вимірюється пірометрами типу «ОПИР-С») або інтенсивність світлового чи теплового випромінювання від металу зварюваних деталей тощо. Особливо ефективні ці види контролю в автоматичних системах керування на базі мікроЕОМ за наявності оберненого зв'язку, коли є можливість коригувати у процесі зварювання параметри режиму за результатами їх оперативного вимірювання. Для вимірювань застосовують, наприклад, пристрої на базі мікропроцесорів – регулятори типу РКМ та РВС (завод «Электрик», м. С.-Петербург), які під час зварювання в автоматичному режимі забезпечують потрібні коефіцієнт потужності, навантаження та компенсацію впливу потужності навантаження на струм зварювання, задають силу зварювального струму в процентах від повнофазного тощо.

З метою стабілізації головних параметрів режиму зварювання розроблено мікропроцесорні контролери типу ККС-01, які керують зміною

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

величини кута вмикання тиристорів у процесі зварювання завдяки вимірюванню діючої сили зварювального струму у кожному періоді, автоматично налагоджують коефіцієнт потужності та омічний опір зварювального контакту машини, оперативно контролюють стан обладнання та компенсацію зносу електродів послідовним підвищенням сили зварювального струму через певну кількість точок.

Для підвищення якості продукції, налагодження і незалежного вимірювання головних параметрів режиму (сили струму зварювання, зусилля стискання деталей, тривалості операцій тощо) розроблено електронні регістратори технологічних процесів типу Р-3704 та багатофункціональні вимірювачі параметрів машин контактного зварювання типу МИКС (розробка м. С.-Петербург, фірма «Компанія з автоматизації зварювання»). Ці апарати дають можливість не тільки контролювати параметри, але й забезпечують під час доробки технології зварювання 100 %-ий оперативний контроль зварювання.

Готові вироби контролюються з руйнуванням і без руйнування зварних з'єднань. При цьому рівень якості або працездатності оцінюється якісно або кількісно.

При неруйнівному контролі застосовують такі фізичні методи, як радіаційний, ультразвуковий і електромагнітний. Зовнішній огляд, контроль на герметичність і опір з'єднань певним навантаженням належать також до неруйнівних методів.

Контроль з руйнуванням виконується за технологічними зразками (зразками-«свідками»), а також на окремих реальних зварних конструкціях.

Заготовки ріжуться на стандартні зразки з матеріалу тієї ж товщини і хімічного складу, що й сам виріб. Потім їх зварюють на робочих режимах.

При якісних випробуваннях пластини затискаються в лещатах і руйнуються зубилом або у спеціальному пристрої зі скручуванням однієї з заготовок. Показником якості при цьому є руйнування з виривом точки і виникненням отвору в одній із пластин (при її товщині до 2 мм) або з виникненням вириву завглибшки не менше 30 % від товщини деталі (якщо її товщина більша, ніж 2 мм).

Випробування скручуванням зразків із тонкого металу виявляють діаметр точки, дефекти у вигляді виплесків, раковин та тріщин. Зварні з'єднання можуть підлягати видавлюванню або випробуванням наповненням порожнини стиснутим повітрям із занурюванням виробів у воду, вакуумуванням або гідравлічними методами.

Кількісні показники міцності точкових, рельєфних, шовних з'єднань визначаються випробуваннями спеціальних зразків на розрив, зрізання, при циклічних знакозмінних навантаженнях тощо.

Величину кута та зусилля зрізання точкових з'єднань визначають на хрестоподібних зразках за допомогою спеціальних стендів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

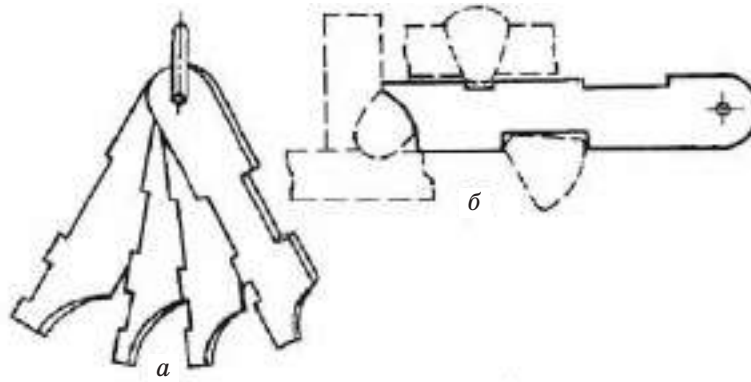
Герметичність – щільність з'єднань – перевіряють гасом. Для цього на один бік шва наносять крейдовий розчин. Після просушування на протилежний бік виробу наносять гас. Якщо шов негерметичний, на шарі крейди з'являються жирні плями.

Наявність внутрішніх дефектів у стику вивчають за зломами візуально, через лупу або за допомогою металографічних мікроскопів. Отримані зломи порівнюють з еталонами. Макро- та мікроструктурні дослідження контрольних зразків виконують для визначення розмірів литої зони, глибини проплавлення та вм'ятин від електродів, а також для виявлення структури металу точок та зони термічного впливу.

19.4. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НЬОГО

19.4.1 Візуально-оптичні методи

Зовнішній огляд ДСТУ EN ISO 17637:2017 Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань виконаних зварюванням плавленням здійснюють для визначення дефектів поверхонь зварних швів. Виконується візуально, часто з використанням лупи 10-кратного збільшення. Перед оглядом зварний шов і пришовну зону по 20 мм з кожного боку зачищають від шлаку, бризок і забруднення. Стики паропроводів з аустенітних сталей піддають механічній і хімічній обробці. Розміри зварного шва і дефектних ділянок визначають вимірювальним інструментом і спеціальними шаблонами (мал. 19.11).



Мал. 19.11. **Набір шаблонів для визначення розмірів перерізів швів (*а*) і схема проведення замірів (*б*)**

Обробку шва здійснюють для визначення дефектів у сумнівних місцях після проведення контролю іншими методами і для контролю кутових швів. Виконується вирубуванням, свердлінням, термічним різанням. Наприклад, у шві свердлять поглиблення діаметром на 2–3 мм

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

більшим ширини шва, поверхню шліфують і травлять 15 %-им розчином азотної кислоти. При цьому будуть помітними межі шва і можливі дефекти.

Межі тріщин виявляють засвердлюванням, підрубкою металу зубилом, шліфуванням дефектної ділянки і подальшим травленням. Після нагрівання до вишнево-червоного кольору тріщини мають вигляд темних зигзагоподібних ліній. Якщо передбачена термообробка зварного з'єднання, контролюють після неї.

Технологічна проба виконується для визначення сплавлення металу, характеру злому з'єднання (по шву чи основному металу), наявності непроварів та інших внутрішніх дефектів за допомогою лупи 10-кратного збільшення. Здійснюється при атестації зварників, для контролю зварювальних матеріалів і вибраної технології.

Люмінесцентна і кольорова дефектоскопія здійснюється завдяки введенню флуоресціюючого розчину чи яскраво-червоної проникної рідини (фарба Судан III), які потім видаляються з поверхні. При люмінесцентній дефектоскопії під дією ультрафіолетових променів відбувається видиме світіння розчину, адсорбованого порожниною дефекту. При кольоровій – дефекти проявляються фарбою (на світлому фоні з'являється червоний рисунок, відповідний формі дефекту).

Після нанесення на поверхню як індикаторну рідину застосовують і суміш гасу зі скипидаром з додаванням фарби. Вона проникає всередину дефекту. Рідину видаляють із поверхні, але в дефектах вона лишається. Потім на поверхню наносять порошок або розчин проявника (розчин каоліну в етиловому спирті). Коли він висихає, в нього з дефекту всмоктується індикаторна рідина, фарбуючи місця дефектів. Цим методом виявляються дефекти завширшки від 1 мкм, завглибшки від 10 мкм і завдовжки від 0,1 мм.

За допомогою розглянутих методів виявляються поверхневі дефекти, головним чином, тріщини, в тому числі на зварних з'єднаннях із немагнітних сплавів.

Для кольорової дефектоскопії використовують готові комплекти типу ДАК-211.

Контроль щільності здійснюють декількома методами.

Капілярним методом (гасова проба за ДСТУ БМ 1289-2002) визначають щільність зварних швів на металі завтовшки до 10 мм, можна виявляти дефекти до 0,1 мм і більше. Доступний для огляду бік шва покривають суспензією крейди або каоліну (350–400 г розчиняють в одному літрі води). Для випробування при мінусових температурах суспензію готують на основі спирту і наносять фарборозпилювачем. Після її висихання протилежний бік кілька разів змочують гасом під тиском, наприклад, за допомогою газорізального пальника. Тривалість витримки не менше 12 год при плюсовій температурі і 24 год при мінусовій. У місцях суцільних дефектів з'являються індикаторні плями.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Пневматичні випробування на щільність базуються на виникненні з одного боку шва надлишкового тиску повітря і нанесенні на другий бік мильної піни, яка утворює пухирі під тиском проникаючого крізь нещільності стиснутого повітря, внаслідок чого тиск на манометрі зменшується. Невеликі посудини під тиском опускають у воду і слідкують за появою пухирів повітря, що виходить. Іноді шви обдувають стиснутим повітрям під тиском 0,4–0,5 МПа на відстані до 50 мм. Мильні розчини готують так: 100 г господарського мила розчиняють в 1 л води (взимку 60 % води замінюють на спирт).

При випробуванні на щільність у вакуумі реєструють проникнення повітря крізь дефекти на одному боці шва, доступному для випробування. При цьому виявляються нещільності розміром 0,1 мм і більше металу завтовшки до 16 мм. Як індикатор також використовують розчини 250 г господарського мила в 10 л води, а взимку – водний розчин хлористої солі з концентрованим розчином екстракту лакричного кореня (1 кг екстракту на 0,5 л води). Для утворення вакууму застосовують плоскі, кільцеві і сегментні камери з вакуумом 5000–6000 Па. Тривалість випробування – 20 с.

Для *хімічного контролю щільності* на зовнішній шов наносять 4 %-ий спиртово-водний розчин фенолфталеїну або накладають на нього марлю, просочену 5 %-им розчином азотистого срібла. При цьому всередині виробу створюється тиск повітряно-аміачної суміші (аміак не менше 1 % кількості повітря накачують при подальшому зростанні тиску до 1,25 робочого). Після витримки протягом 10 хв у місцях суцільних дефектів фенолфталеїн забарвлюється в яскраво-червоний колір з фіолетовим відтінком, азотисте срібло – у сріблясто-чорний. Цей спосіб рекомендується для випробування зварних стиків діаметром до 50 мм, а також трубопроводів, зварених врозруб (замість просвічування).

При *гідравлічних випробуваннях* посудину наповнюють водою і витримують не менше 2 год, а потім поливають із шланга з брандспойтом (діаметр вихідного отвору 15–30 мм) під тиском не нижче 0,1 МПа (для відкритих посудин). Якщо випробовують з додатковим тиском, його створюють у наповненій водою закритій посудині за допомогою напірної труби діаметром менше 30 мм, а також гідравлічним насосом. Величина тиску задається технічними умовами і Правилами Держнаглядохоронпраці України. Дефектні місця визначають за наявністю крапель, струменів води чи спітнінь.

Всі ці методи передбачають використання відносно простих засобів:

1) універсального шаблона зварника (УШЗ-3) для контролю елементів розчищення під зварний шов, електродів і елементів зварного шва;

2) лупи ЛП-3 (трикратне збільшення), ЛП6 (шестикратне) для огляду деталей, дрібних предметів;

3) вимірювальної лупи ЛИ-10 (десятикратна) для вимірювання лінійних розмірів плоских предметів за допомогою шкали на скляній пластині;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

4) штангенциркуля ШЦ-1-125-0,1 з глибиноміром;

5) металевої лінійки Л-300;

6) набору радіусних шаблонів для оцінки радіусів опуклих і увігнутих поверхонь № 1 (R = 1…6 мм) і № 3 (R = 7…25 мм);

7) набору щупів для контролю зазорів № 4 (0,1–1 мм);

8) металевого кутника 150 × 100 мм У 90;

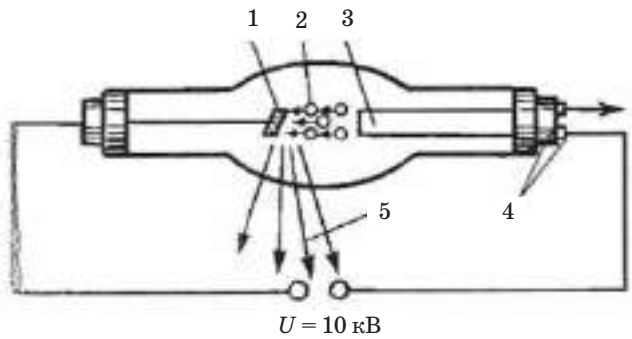
9) мініатюрного ліхтарика;

10) оглядового дзеркала (поворотного) L = 140 мм.

Усі ці інструменти входять до спеціального комплекту для візуального контролю. Вони розміщуються у спеціальному футлярі.

19.4.2 Радіаційні методи

В основі радіаційних методів контролю ДСТУ EN ISO 17636-1:2014 «Неруйнівний контроль зварних швів. Радіографічний контроль. Частина 1. Способи контролю рентгенівським і гамма-випромінюванням із застосуванням плівки. Частина 2. Способи контролю рентгенівським і гамма-випромінюванням із застосуванням цифрових детекторів» лежить застосування іонізаційних рентгенівських променів і гамма-випромінювання, які мають електромагнітну природу. Їх енергія велика порівняно зі світловою, що й обумовлює високу проникність. Випромінювання утворюється в рентгенівській трубці (мал. 19.12). При пропусканні струму з вольфрамового катода внаслідок нагрівання до високої температури починається емісія електронів у напрямку анода, виготовленого у формі пластин із вольфраму або з молібдену, внаслідок чого з'являється гальмівне випромінювання, яке має неперервний спектр.



Мал. 19.12. **Схема роботи рентгенівської трубки:**
1 – анод; 2 – електрони; 3 – катод; 4 – контактні нитки розжарювання катода; 5 – рентгенівське випромінювання

Гамма-випромінювання утворюється при розпаді ядер радіоактивних ізотопів. Користуються штучними ізотопами, які одержують при бомбардуванні ядер елементів нейтронами. Останні приєднуються до атома і пе-

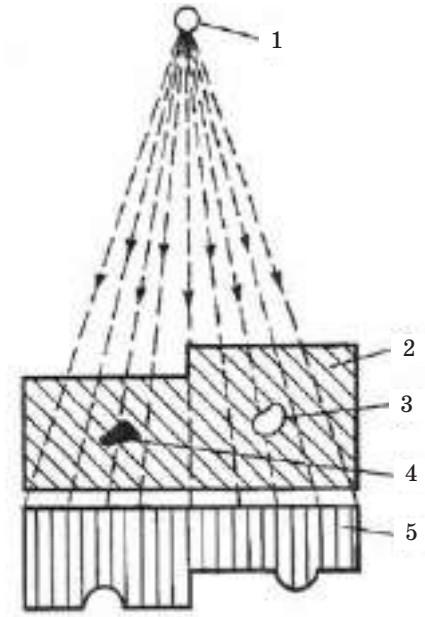
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

реводять його в нестійкий стан, який завершується розпадом. Характеризують процес таким показником, як період напіврозпаду, тривалість якого залежить від природи ізотопа і може змінюватися від десятків днів (тулій-170, іридій-192) до кількох років (цезій-137, кобальт-60).

Гамма-випромінювання має електромагнітну природу з дуже короткою довжиною хвилі, воно не має заряду і не відхиляється ні магнітними, ні електричними полями, може проникати крізь сталеві вироби завтовшки до 500 мм.

Радіаційні методи контролю засновані на реєстрації й аналізі іонізуючого випромінювання при його взаємодії з контрольованим виробом. Найчастіше аналізують випромінювання, яке пройшло через зварне з'єднання. Порівнюється поглинання випромінювання після проходження через дефект і бездефектну ділянку шва.

Для виявлення дефектів у виробах з одного боку встановлюють джерело випромінювання, а з другого – детектор, який реєструє інформацію про внутрішню будову контрольованого об'єкта (мал. 19.13).



Мал. 19.13. **Схема просвічування виробу рентгенівським або γ-випромінюванням**

Випромінювання від джерела 1 проходить крізь виріб 2, який має внутрішні дефекти 3 і 4 з різною щільністю. В дефектному і бездефектному місцях воно буде поглинатись по-різному і виходити на детектор із різною інтенсивністю. Якщо дефект 3 заповнений повітрям або газом, інтенсивність послаблюється менше, ніж в основному металі, і навпаки, якщо дефект 4 за-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

повнений більш щільним матеріалом (наприклад, вольфрамом), ніж основний, інтенсивність випромінювання зменшується, що видно з епюри 5.

Залежно від типу детектора існує три основних методи радіаційного контролю: радіографічний, радіоскопічний і радіометричний.

До просвічування зварні шви потрібно підготувати: очистити їх від шлаку, забруднень, поверхневих дефектів, промаркувати ділянки контролю, щоб після просвічування можна було точно вказати розміщення внутрішніх дефектів.

Радіографічний метод дає змогу зафіксувати дефект. Касети і плівки маркуються таким же чином, як і ділянки контролю. Плівку заряджають у касету, останню закріпляють на виробі, а з боку джерела випромінювання встановлюють еталон чутливості. При просвічуванні джерело має бути встановлено жорстко, без вібрації, щоб відображення не було розмитим. Основні параметри режиму такі.

Енергія випромінювання залежить від величини напруги на рентгенівській трубці (чутливість контролю збільшується при її зростанні) або вибору ізотопа (Co-60 має більшу енергію, ніж Cs-173 або Ir-192). Для зменшення розсіювання випромінювання користуються спеціальними фільтрами, виготовленими з олов'яної (0,025 мм) або свинцевої (0,075–0,15 мм) фольги. Їх розташовують між джерелом і об'єктом або між плівкою і об'єктом. Застосовують рентгенівські плівки неекрановані й екрановані – з використанням флуоресцентних підсилювальних екранів. Чутливість у разі використання екранованої плівки дещо більша за рахунок зменшення дії вторинного випромінювання, джерелом якого є сам контрольований матеріал.

Технічні характеристики радіографічних плівок «Структурикс» вибирають залежно від товщини металу і характеристики джерела випромінювання. Так, якщо просвічування металу завтовшки 5–20 мм проводиться рентгенапаратом, застосовується плівка фірми AGFA марки Д3. Якщо ж використовують ізотопи тулій-170, селен-75, іридій-192, то потрібні плівки відповідно Д4, Д5 і Д7.

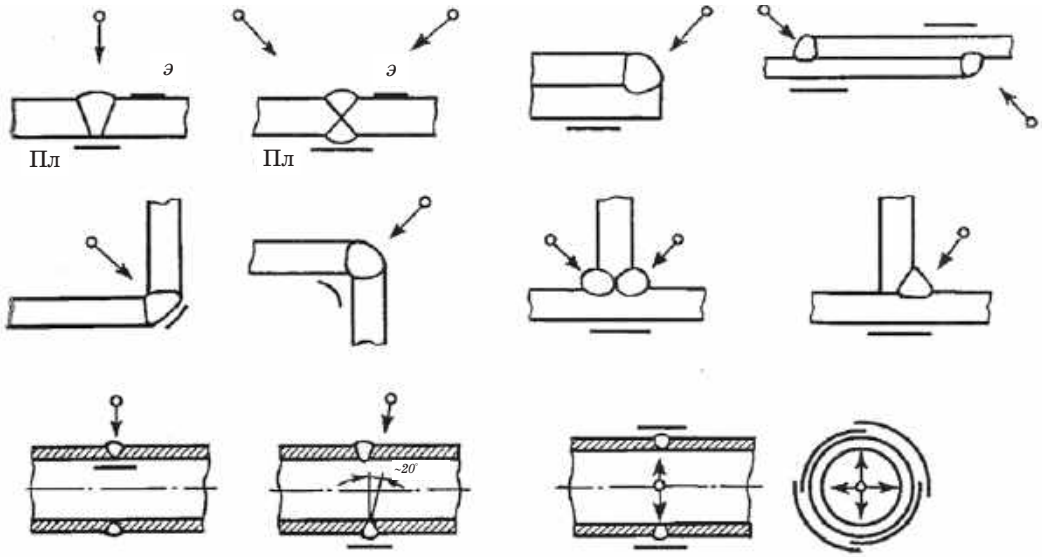
Чутливість плівки марки Д2 становить 1,5–2, плівок Д4 і Д8 – відповідно 4–5 і 14–15.

Класи плівкових систем згідно з Європейським стандартом EN-584-1 визначають тип зернистості і чутливість. Класи С1, С2 – це дуже дрібнодисперсні плівки низької чутливості, клас С6 – крупнозерниста високочутлива плівка. Поставляють неекрановану плівку в паперових пакетах, а кожний лист екранованої – з екраном ps свинцю 0,027 мм у вакуумній упаковці форматом від 30 × 40 см до 10 × 24 см або в рулонах 70–100 мм × 90 м.

Вибір плівки залежить від товщини і щільності контрольованого матеріалу, а також від продуктивності і чутливості контролю.

Схема просвічування має забезпечити оптимальне виявлення дефектів (мал. 19.14)

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 19.14. **Схеми просвічування зварних з'єднань**

Час експозиції вибирають за спеціальними номограмами, які даються для певного типу плівки, фокусної відстані й енергії випромінювання. Він підлягає коригуванню за допомогою пробних знімків.

Процес фотообробки плівки включає операції проявляння, проміжні промивання, фіксування зображення, промивання і сушіння плівки.

Розшифровка знімків – найвідповідальніший етап, його виконують у прохідному світлі на негатоскопі – спеціальному приладі, освітлювальні лампи якого закриті матовим склом для утворення рівномірно розсіяного світлового потоку. Для обробки приміщення затемнюють.

Розшифровка складається з трьох етапів: оцінки якості відображення (чи є на знімку дефекти фотообробки), його аналізу і виявлення дефектів (оцінюють оптичну щільність, вона має бути 1,4–4,0, перевіряють, чи всі еталони чутливості видно на плівці, чи гарантується виявлення недопустимих дефектів, чи є зображення маркувальних знаків), а також складання висновку про якість виробу (чи відповідає якість технічним умовам на виготовлення і прийомку виробу).

Дрібні дефекти вимірюються за допомогою лупи, більші за 1,5 мм – прозорою лінійкою, у сумнівних випадках робиться контрольний знімок. На знімку записують: Т – тріщини; Н – непровари; П – пори; Ш – шлакові вкраплення; В – вольфрамові включення; Р – різностінність; О – послаблення кореня шва; Зм – зміщення кромок; розмір дефекту – найбільший розмір дефекту на плівці, мм.

Економічним методом реєстрації є флюорографія, що в 6–10 разів знижує витрату срібла, але обов'язковим елементом є використання підсилювальних флуоресцентних екранів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розподіляють дефекти також за такими ознаками: окремі ланцюжки (розташовані на одній лінії не менше трьох дефектів із відстанню між ними, що не перевищує трикратної величини дефекту), скупчення (щільно розташовані дефекти з параметрами, як і в ланцюжках).

Умови автоматизації основних процесів радіографії:

1) *експонометрія*, яка забезпечує одержання потрібної щільності почорніння знімка завдяки використанню спеціальних приладів – експонометрів;

2) *прискорена фотообробка* – здійснюється на автоматах для проявлення і фіксування;

3) *розшифровка знімків* – зчитування з плівки інформації у вигляді послідовних електросигналів (відображають щільність почорнінь і їх локалізацію) та класифікація дефектів згідно з існуючими еталонами. При порівнянні зразка з еталоном класу і задовільним збіганням з ним роблять висновок, що зразок належить до цього класу.

Отже, звичайні методи радіографії дають зображення на плівці двомірного порядку і найбільш ефективні при контролюванні невеликих товщин. Розглянута методика не дає об'ємного відображення дефектів у вигляді щілин, непроварів, вкраплень.

Це може бути досягнуто при використанні методу обчислювальної томографії, коли шар за шаром аналізується складна картина просторового перерізу виробу, а вся інформація надходить до обчислювального комплексу. Всі результати представляються у вигляді матриці, кожен елемент якої визначає деяке значення параметрів, що сигналізують про дефект.

Для радіаційної дефектоскопії використовують апарати з постійним навантаженням та імпульсні.

Апарати-моноблоки з рентгенівськими трубками і високовольтним трансформатором монтуються в єдиному блоці, залиті маслом або наповнені газом, мають мінімальні габарити і масу, але це погіршує такі показники, як якість випромінювання і тривалість безперервної роботи. Використовують їх там, де треба віддалити випромінювання від пульта керування на велику відстань (до 30 м і більше) і мати хорошу маневреність випромінювача, наприклад, для контролю магістральних трубопроводів.

В апаратах кабельного типу генератор, рентгенівська трубка і пульт керування відокремлені один від одного. Такі апарати пересувні, вони призначені для роботи в цехових і лабораторних умовах. Деякі з них, наприклад, РУП-100-10, завдяки малій масі блока випромінювання і можливості значного віддалення генератора і пульта керування від рентгенівської трубки (до 10 м) використовуються для контролю швів у важкодоступних місцях.

Імпульсні апарати завдяки малій масі і габаритам дуже ефективні для контролю швів у важко доступних місцях суднових, авіаційних і монтажних металоконструкцій.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Сучасні типи гамма-дефектоскопів поділяють на установки загальнопромислового (універсальні шлангові дефектоскопи) і спеціального призначення для фронтального і нормального просвічування (затворного типу). Перші – універсальні, дають змогу віддалити малогабаритне джерело випромінювання на відстань 5–12 м, що особливо важливо при контролі у важкодоступних місцях.

Апарати спеціального призначення розроблені для роботи в польових, монтажних умовах, в цеху, на стапелях, коли використання шлангових дефектоскопів неможливе внаслідок обмежених розмірів радіаційнозахисних зон.

Радіоскопія – метод контролю, заснований на просвічуванні контрольованих об'єктів рентгенівським випромінюванням з подальшим перетворенням радіаційного відображення об'єкта в світлотіньове або електронне і передачею його на відстань за допомогою оптики або телевізійної техніки для візуального аналізу на вихідних екранах. Доцільність використання методу визначають, виходячи з того, що його чутливість до дефектів порівняно з радіографією в два рази нижча, але продуктивність у 3–5 разів вища. Цей метод дає змогу розглянути внутрішню структуру контрольованого виробу в процесі його переміщення відносно вхідного екрана зі швидкістю 0,3–1,5 м/хв залежно від типу перетворювача і товщини виробу.

Як перетворювач тіньового радіаційного відображення в світлотіньове чи електронне використовують флуороскопічний екран, сцинтиляційний кристал, електронно-оптичний пристрій, електролюмінісцентний екран, а також рентген-відикон, який перетворює рентгенівське відображення об'єкта безпосередньо у відеосигнал без втрати інформації. Якщо радіоскопічний метод контролю задовольняє вимоги технічних умов на виявлення дефектів, ним можна користуватися замість радіографічного, якщо ні – його можна застосовувати у поєднанні з радіографічним, а також для попереднього контролю.

Радіометрія – метод, заснований на просвічуванні виробів іонізуючим випромінюванням і контролі електричного сигналу, пропорційного щільності потоку або спектральному складу випромінювання, яке пройшло через зварне з'єднання. Джерелом випромінювання слугують гамма-ізотопи, прискорювачі і рентгенівські апарати. Детектором випромінювання є сцинтиляційний кристал з фотоелектронними помножувачами, іонізаційна камера і газорозрядний лічильник. Вузький пучок іонізуючого випромінювання переміщується по контрольному об'єкту, послідовно просвічуючи всі його ділянки. Випромінювання, що пройшло через об'єкт, реєструється лічильником, на виході якого утворюється електричний сигнал, пропорційний інтенсивності випромінювання, що надходить. Електричний сигнал, пройшовши через підсилювач, реєструється пристроєм. Таким пристроєм може бути самописець, осцилограф,

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

міліамперметр тощо. За наявності дефекту в шві пристрій фіксує підвищення інтенсивності випромінювання.

Перевагами методу є висока чутливість (0,3–3,0 %), можливість безконтактного контролю, висока продуктивність порівняно з радіографією. Недолік – одночасне переміщення джерела і детектора на однаковій відстані з обох сторін від об'єкта, неможливість визначення форми і глибини дефекту, вплив розсіяного випромінювання.

19.4.3. Акустичні методи

Ультразвуковий метод ДСТУ EN ISO 17640:2018 «Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль, методи, рівні контролювання та оцінювання» базується на відбитті напрямленого пучка високочастотних звукових коливань (0,8–2,5 МГц) від металу зварного шва й існуючих у ньому дефектів у вигляді несуцільностей.

Ультразвукові (УЗ) коливання збуджуються спеціальним п'єзоелектричним перетворювачем, який перетворює електричні коливання в механічні. Такий процес відбувається внаслідок перебудови кристалів, розташованих у пластині з кварцу, титанату барію тощо, осі яких під дією струму повертаються в металі, при цьому змінюються лінійні розміри пластини. Зміни ідуть безперервно одна за одною, утворюючи хвилю.

Розрізняють УЗ хвилі поздовжні, якщо напрямок коливань збігається з напрямком руху хвилі (виникають у твердих, рідких і газоподібних тілах) і поперечні, якщо напрямок коливань перпендикулярний до руху хвилі (виникають лише у твердих тілах).

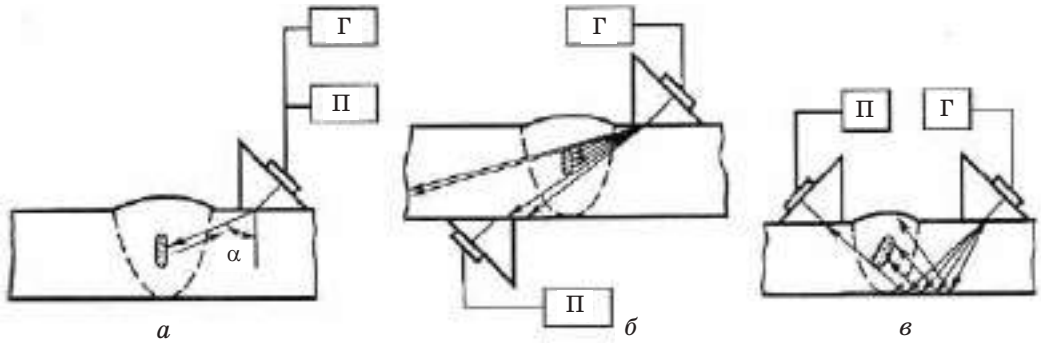
Існують два основних методи УЗ дефектоскопії.

Перший називається *ехо-імпульсним* і базується на використанні відбитих УЗ хвиль від несуцільностей контрольованої деталі, акустичний опір яких відрізняється від указаного опору основного металу (мал. 19.15, *а*).

Ознакою дефекту є поява на екрані приймача ехо-сигналу. Цей метод використовується для контролю всіх основних типів зварних з'єднань – стикових, кутових, таврових, внапустку з елементами товщиною більше, ніж 1000 мм, а дефекти площею до 7 мм^2 фіксуються на глибині до 100 мм. Контроль здійснюється при однобічному підході до з'єднання. Використовують один перетворювач для випромінювання і прийому сигналів. Спосіб простий, але має недоліки: низька перешкодостійкість і значна залежність відбиття сигналу від орієнтації дефекту.

Другим методом *дефекти виявляють за зменшенням амплітуди сигналу* як при імпульсному, так і при безперервному випромінюванні. Його різновиди називають *тіньовим* (мал. 19.15, *б*) і *дзеркально-тіньовим* (мал. 19.15, *в*) методами. Ці методи характеризуються хорошою перешкодостійкістю, але тіньовий потребує двостороннього доступу до дефекту. Обидва методи можуть використовуватися при контролі об'єктів з грубо обробленими поверхнями.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 19.15. **Схеми основних методів УЗ контролю зварних швів і варіанти виконання включення УЗ перетворювачів:**
а – ехо-метод; *б* – тіньовий: *в* – дзеркально-тіньовий;
Г – генератор; П – приймач

Апаратура ультразвукового контролю складається з п'єзоперетворювача, електронного блока і допоміжного пристрою. Основною частиною п'єзоперетворювача є п'єзоелемент (пластина кварцу, титанату барію) у вигляді диска, товщина якого дорівнює половині довжини хвилі ультракоротких коливань. Існують перетворювачі прямі (вводять поздовжню хвилю перпендикулярно до контрольованої поверхні), нахилені (вводять поздовжню хвилю перпендикулярно до контрольованої поверхні) і роздільно-сумісні (вводять поздовжню хвилю під кутом 5–10° до площини, перпендикулярної до поверхні вводу).

Прямий УЗ перетворювач (мал. 19.16, *а*) складається з корпусу 7, п'єзопластини 3, з одного боку якої є демпфер 6, що скорочує тривалість вільних коливань, а з другого захисне денце 5 від механічних пошкоджень.

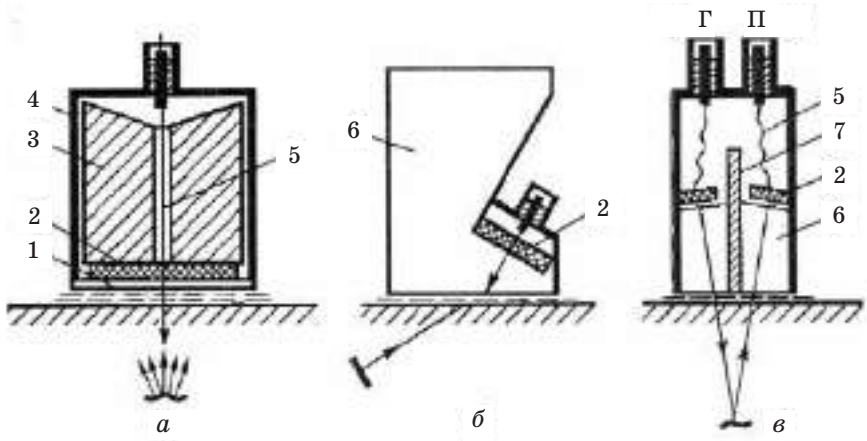
Нахилений перетворювач (мал. 19.16, *б*) має п'єзопластину 3, приклеєну до призм з полімерів 4 (оргскло, полістирол тощо). Мала швидкість поширення хвиль у полімерах дає змогу при малих кутах падіння хвиль на об'єкт вводити поперечні хвилі під більшим кутом. Коли УЗ імпульс досягає протилежного боку зразка, він відбивається від нього і продовжує зигзагоподібний шлях між двома поверхнями. Прямі і нахилені перетворювачі працюють за сумісною схемою: п'єзоелемент є і випромінювачем, і приймачем.

Роздільно-сумісні перетворювачі (мал. 19.16, *в*) мають дві п'єзопластини: одна підключається до генератора випромінювання Г, друга до приймача П, а між ними встановлюється акустичний екран 2.

Перетворювачі розподіляються на контактні (контактний шар рідини між п'єзоелементами і виробом може бути меншим, ніж половина звукової хвилі); *щілинні* (шар рідини близький до довжини хвилі) й *імерсійні* (товщина шару рідини більша, ніж довжина хвилі). Вибирають

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

перетворювач залежно від поверхні об'єкта. При грубо обробленій поверхні застосовують щілинні перетворювачі.



Мал. 19.16. **Схеми УЗ перетворювачів:**
а – прямого; *б* – нахиленого; *в* – роздільно-сумісного;
1 – струмопідвід; 2 – акустичний екран; 3 – п'єзопластина; 4 – призма; 5 – захисне денце (протектор); 6 – демпфер; 7 – корпус

Електронний блок генерує імпульси з високою частотою, підсилює і перетворює ехо-сигнали, відбиті від об'єкта, і зображує їх на телевізійній трубці.

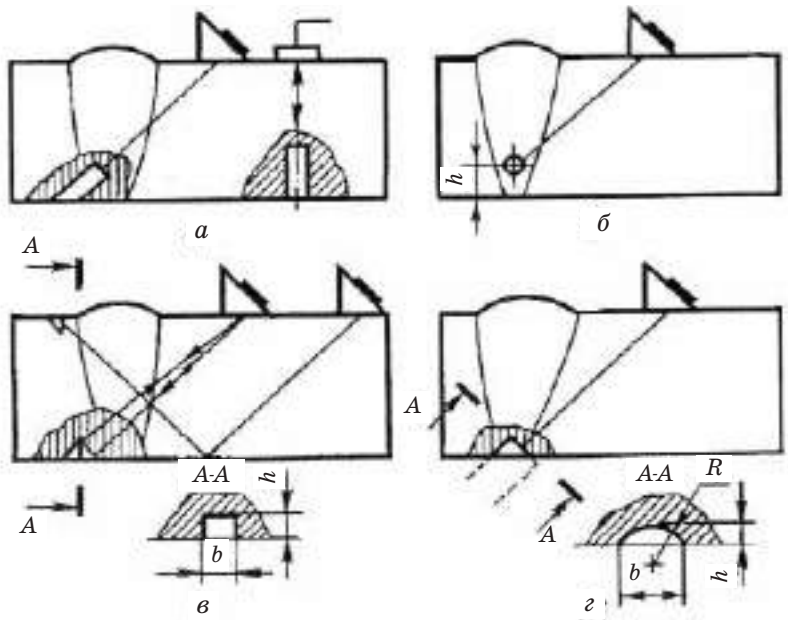
Дефектоскопи працюють за такою схемою. Від блока синхронізатора тактові імпульси подаються на генератор зондуючих імпульсів і запускають його, після чого ці імпульси збуджують у п'єзопластині УЗ коливання. Одночасно тактові імпульси з синхронізатора подаються і на генератор розгортки електронно-променевої трубки. Швидкість розгортки регулюється залежно від товщини прозвучуваного металу.

Відбиті від дефекту імпульси пружних коливань надходять на п'єзопластину і перетворюються в ній на електросигнали, які підсилюються і направляються на екран електронно-променевої трубки. При розгортанні відстань від зондуючого імпульсу до прийнятого сигналу пропорційна часу проходження імпульсу від п'єзопластини до дефекту і назад. За числовим значенням швидкості і часу проходження УЗ визначають координати дефекту. Відхилення променя на телевізійній трубці у вертикальному напрямку характеризує амплітуду сигналу. Воно пропорційне розміру дефекту. Амплітуди вимірюються спеціальними градуйованими приладами атенюаторами, які є в дефектоскопах. Крім того, в них міститься автоматизований сигналізатор для звукової і світлової індикації дефектів.

Технологія УЗ ехо-контролю забезпечує визначення розмірів і характеру дефектів. Для цього слід знати такі параметри: амплітуду ехо-сигналу; протяжність, що визначається довжиною зони переміщення пере-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

творювача вздовж шва; кількість дефектів вздовж шва і в його перерізі. Для уніфікації вимірювання амплітуди сигналу введено умовне поняття «еквівалентна площа дефекту». Її оцінюють площею штучного відбивача, розташованого на тій же глибині, що і дефект, і генеруючого ехо-сигнал тієї ж амплітуди. Вимірювання еквівалентного розміру виконуються за допомогою тест-зразків (мал. 19.17).



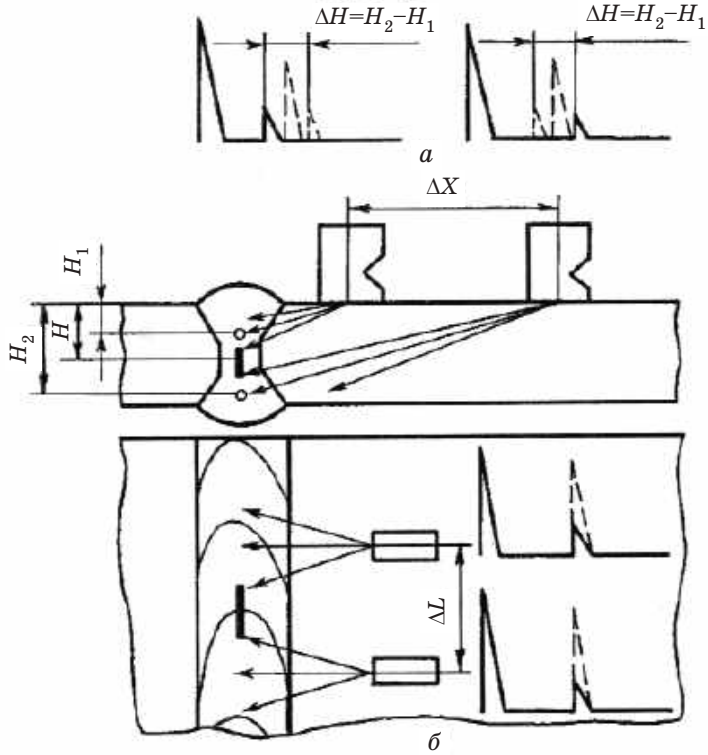
Мал. 19.17. **Еталонні відбивачі з отворами:**
а – плоскодонним; *б* – боковим циліндричним; *в* – кутовим; *г* – сегментним

Ехо-сигнал від дефекту послідовно порівнюють із сигналами від отворів із плоскими днищами різних величин, виконаних на тій же глибині, що і дефект. Треба знайти розмір отвору, від якого відбивається ехо-сигнал такий же, як і від дефекту. Недоліком способу є потреба у великій кількості зразків із різними діаметрами отворів, розміщених на різній глибині, а також повна ідентичність матеріалу і якості поверхневої обробки виробу з тест-зразками. Інколи розміри дефектів встановлюють приблизно шляхом вимірювання на поверхні об'єкта. Перетвоювач переміщують вздовж дефекту і заміряють положення, коли ехо-імпульс від дефекту зникає з екрана. Схема вимірювання умовної висоти ΔX і довжини дефекту ΔL у зварному шві показана на мал. 19.18.

Для виявлення дефектів з різною орієнтацією в стиковому шві, виконаному дуговим зварюванням, з'єднання треба прозвучувати з обох боків валика. Перетворювач переміщують вздовж шва з кроком поздовжнього сканування не більше 2–3 мм з розворотом перетворювача відносно вер-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тикальної осі на кут 5–10° (мал. 19.19). При першому проході перевіряють прямим променем нижню половину шва.



Мал. 19.18. **Схема вимірювання умовної висоти (*а*) і умовної довжини (*б*) дефекту**

При контролі товщин розміром 5–20 мм використовують перетворювач із кутом призми β = 50°, при товщинах 30–50 мм – з кутом β = 40°. Контроль кутових швів таврових з'єднань спочатку виконують з боку стінки: в першу чергу шукають непровар кореня шва, для чого перетворювач переміщують вздовж шва на відстань $L_{н.п} = 0{,}5b_1 tg\alpha$, якщо контроль виконують прямим променем, або на відстань $L_{н.в} = 0{,}5b_1 tg\alpha$, якщо однократно відбитим променем (мал. 19.20, 19.21).

Основні параметри режиму УЗ контролю такі.

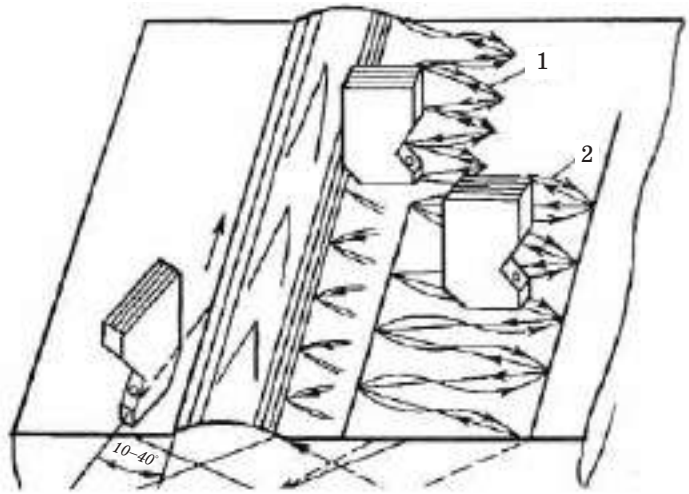
Довжина УЗ хвилі в матеріалі залежить від заданої частоти випромінюваних коливань.

Кут α введення УЗ променя визначається за стандартним зразком.

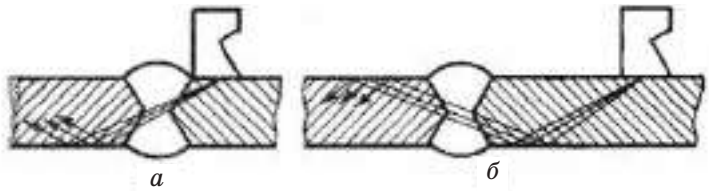
Фронтальна роздільна здатність – залежить від ширини діаграм направленості.

Мертва зона – залежить від мінімальної глибини розташування відбивача, сигнал від якого не зливається на екрані з зондуючим імпульсом, і його можна бачити окремо, лежить у межах 1–10 мм.

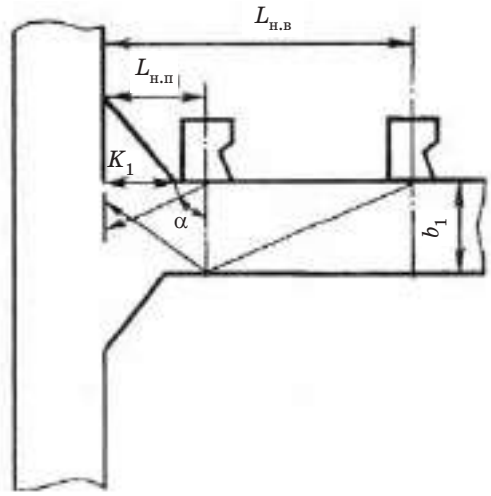
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua



Мал. 19.19. **Траєкторії переміщення призматичних шукачів при контролі стикових з'єднань:**
1, 2 – граничні лінії при контролі відповідно прямим і відбитим променями



Мал. 19.20. **Схема прозвучування зварних з'єднань:**
а – прямим променем; *б* – однократно відбитим



Мал. 19.21. **Схема контролю кутових і таврових зварних з'єднань**

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Роздільна здатність за дальністю (променя) визначається тривалістю зондуючого імпульсу. Похибка вимірювання координат залежить від лінійної швидкості розгортки дефектоскопа і відхилення кута вводу від номінального значення.

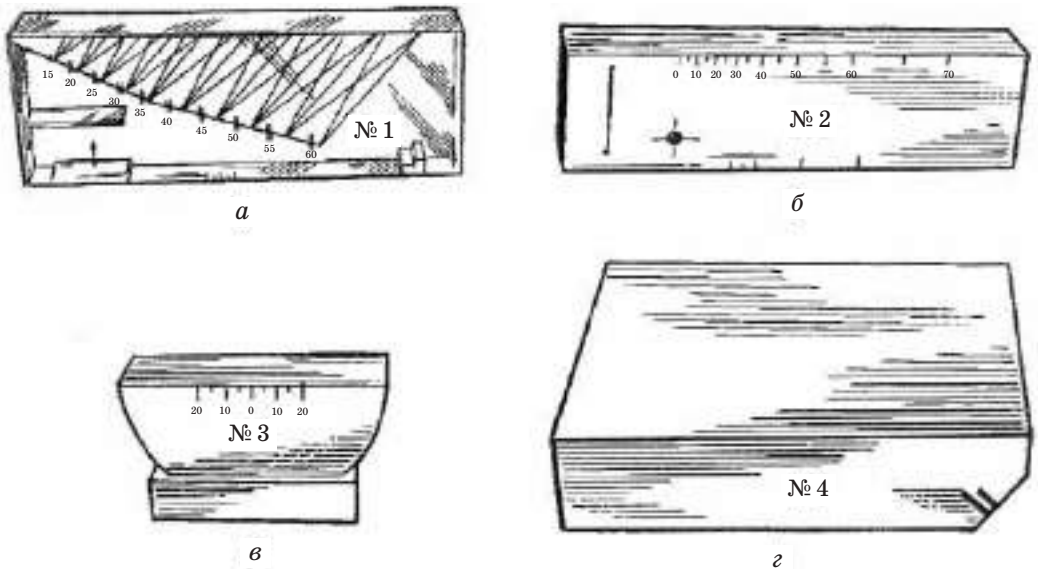
Чутливість – рівень налаштування чутливості дефектоскопа з перетворювачем за заданим еталонним відбивачем.

Крок сканування – залежить від розмірів п'єзоелемента.

Основні параметри можуть систематично або випадково змінюватися, тому їх періодично контролюють за допомогою спеціальних стандартних зразків (мал. 19.22).

Стандартний зразок № 1 виготовлено з оргскла з певними акустичними властивостями. Має відбивачі різних видів і розмірів. За його допомогою перевіряють рівень чутливості, роздільної здатності, швидкості розгортки дефектоскопа і кута α призми перетворювача.

Стандартний зразок № 2 використовується для визначення швидкості розгортки, вимірювання кута вводу α і перевірки мертвої зони дефектоскопа з перетворювачем при контролі з'єднань із низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Виготовлений він зі сталі 20.



Мал. 19.22. **Стандартні зразки**

Зразок № 2А призначений для контролю легованих сталей і кольорових металів.

Стандартний зразок № 3 виготовлено у вигляді напівдиска зі сталі 20. Застосовується для визначення точки виходу акустичної осі пучка і стріли нахиленого перетворювача.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Стандартні зразки № 4 і 4А використовуються для перевірки номінальної частоти УЗ коливань, випромінюваних перетворювачем дефектоскопа. Виготовлені зі сталі 20.

Визначають дефекти, оцінюють їх розміри і відбраковують продукцію на визначених рівнях чутливостей. Еталонування можна проводити прямим способом за допомогою еталонних зразків (мал. 19.17) і непрямим за спеціальними номограмами амплітуда-відстань-діаметр плоскодонного відбиття (АВД). Перший спосіб є найпоширенішим, він простий і враховує вплив багатьох факторів на параметри акустичного тракту. Другим способом еталонування є використання діаграм АВД, що відображують залежність амплітуди сигналу від діаметра дискового відбивача, відстані до нього, діаметра п'єзоелемента і частоти УЗ. Граничну чутливість, виражену через еквівалентну площу відбивача, встановлюють як частину опорного сигналу, одержаного від двогранного кута. При цьому не потребується набір зразків різної товщини, а еталонування можна проводити в кількох точках виробу, що дає змогу усереднити еталонний рівень і позбутися випадкових помилок.

Спеціалізована діаграма АВД для серійного нахиленого перетворювача розміщується у планшеті. По осі ординат відкладається відносна амплітуда ехо-сигналу у від'ємних децибелах, а по осі абсцис – глибина залягання дефекту, яка відраховується по нормалі до поверхні. Глибиноміри сучасних дефектоскопів проградуйовані, що дає змогу визначити ці координати безпосередньо.

Для товщин металу до 40 мм стандартними діаграмами АВД користуватись не можна. В цьому разі вимірювання еквівалентної площі дефектів ехо-дзеркальним методом виконують за спеціальними діаграмами АВДТ (амплітуда-відстань-діаметр-тандем), показаними на мал. 19.23 (тандем, оскільки використовують дві пари перетворювачів: одна працює на опорному донному сигналі A_x, друга – на ехо-дзеркальному сигналі $A_{дз}$).

Опорний донний сигнал A_∞ вимірюють, як правило, при орієнтації перетворювачів назустріч один одному.

Приклад. Визначити еквівалентний діаметр дефекту $2b$, якщо відомо: відношення $A_{дз}/A_\infty = 12{,}3$ дБ; глибина залягання дефекту від поверхні $h = 40$ мм; товщина виробу $H = 70$ мм; параметри перетворювача $\beta = 40^\circ$, $f = 1{,}8$ МГц.

Діаметр визначають графічним методом по діаграмі АВДТ (мал. 19.23) в точці, де пересікаються відповідні штрихові лінії, проведені із квадрантів I, II і III.

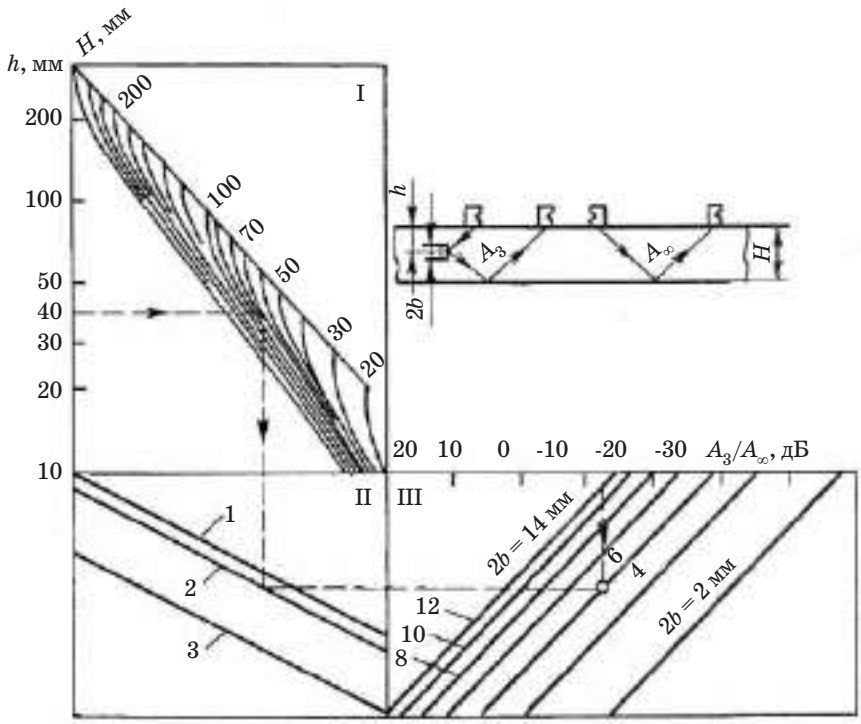
Відповідь: $2b = 6$ мм.

При користуванні дефектоскопами старих типів слід застосовувати координатну лінійку УКЛ-1 або лінійки конструкції НПО ЦНИИТМАШ.

Універсальна координатна лінійка «НИИ мостов ЛИИЖТ» розрахована на вимірювання координат дефектів за допомогою перетворювачів, кути введення променя яких лежать у межах від першого до другого кри-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

тичних кутів. За її допомогою можна визначити координати залягання дефектів. Для оцінки можливості повного прозвучування шва цим перетворювачем, вибору кута введення променя і межі переміщування перетворювача для контролю зварних швів на лінійці є допоміжна номограма розрахунку корекції кута введення променя внаслідок затухання УЗ.



Мал. 19.23. **Схема визначення еквівалентного діаметра дефекту за допомогою діаграми АВДТ при контролі методом тандем:**
1 – β = 50°, *f* = 1,8 МГц; 2 – β = 40°, *f* = 1,8 МГц; 3 – β = 40°, *f* = 5 МГц

Розроблений у тій самій організації приймач перетворювача для контролю стикових швів складається з корпусу, в якому встановлено перетворювач, рейки з міліметровими поділками, і обмежувачів. Останні при контролі відбитим променем, почергово упираючись у кромки опуклості зварного шва, обмежують переміщення перетворювача: зовнішній обмежувач фіксує максимальну, а внутрішній – мінімальну відстань від перетворювача до шва.

Ручний скануючий пристрій дає змогу реалізувати спосіб поздовжньо-поперечного сканування і тим самим скоротити переміщення перетворювача у два-десять разів порівняно з переміщенням при поперечно-поздовжньому скануванні. Продуктивність праці зростає в чотири рази без зниження достовірності контролю. Важливу роль у підвищенні

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

кваліфікації і напрацюванні навичок дефектоскопії мають спеціальні тренажери (НК 155, НК 156, НК157), до складу яких входять спеціально підготовлені зразки зварного з'єднання з зонами, де змодульовані різноманітні дефекти.

Усі операції УЗ контролю можна звести до чотирьох:

– *вивчення об'єкта контролю, його підготовка, вибір основних параметрів контролю і схеми прозвучування.* Складається з ознайомлення із конструкцією об'єкта, а також із документами, де відображені можливі відхилення від технології, зовнішнього огляду. Треба переконатися, що об'єкт підпадає під дію виробничої інструкції, якщо ні, потрібно оцінити, чи може це якимось чином ускладнити проведення контролю або спотворити його результат. Якщо достовірність результату контролю ставиться під сумнів, його треба або припинити до усунення факторів, що перешкоджають, або провести його факультативно без видачі документа про якість. Підготовка включає вилучення зовнішніх дефектів, зачищення поверхні від бризок, окалини, бруду тощо. Якість обробки поверхні має бути не гірше R_z = 40 мкм. Підготовлену поверхню протирають ганчір'ям і покривають шаром консистентної рідини (мастилами, автолами, солідолами);

– *перевірка справності апаратури й основних її параметрів, а також підготовки її до роботи;*

– *проведення контролю, вимірювання координат дефектів і оцінка якості шва.* Пошук дефектів виконують поздовжньо-поперечним скануванням перетворювача по всій зоні контролю. Якщо ехо-сигнал перевищує рівень граничної контрольованої чутливості, встановленої при еталонуванні, вимірюються характеристики дефектів: координати, амплітуда ехо-сигналу, умовні висота, довжина і мінімальна відстань між дефектами. Норми оцінки якості складають з урахуванням особливостей інформації під час контролю;

– *документальне оформлення результатів контролю.*

За результатами складається висновок, в якому містяться основні дані про контрольований виріб, тип УЗ дефектоскопа, частоту, тип перетворювача, кут його нахилу, прізвище оператора, номер посвідчення, оцінку якості.

Надійність одержаних результатів контролю якості зварних з'єднань значною мірою залежить від кваліфікації операторів.

Акустична голографія – дає змогу одержати об'ємне відображення об'єкта інтерференційним способом за допомогою акустичних хвиль, коли внаслідок взаємодії двох звукових хвиль (опорної і розсіяної об'єктом) утворюється певне звукове поле і вибудовується відповідне зображення предмета. Цей метод досить точно фіксує положення дефекту в металі і його довжину, а інформація про його поперечний розмір не надійна.

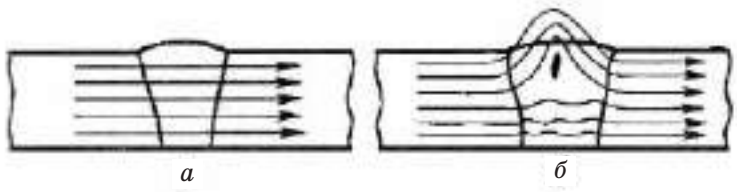
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Метод акустичної емісії – стосується діагностики і направлений на виявлення стану об'єктів шляхом визначення й аналізу шумів, які супроводжують процес утворення і росту тріщини. Базується на реєстрації акустичних хвиль, що виникають у металі зварних конструкцій при навантаженні в результаті пластичних чи крихких деформацій. Застосовується для виявлення передруйнівного стану важко навантажених посудин високого тиску, газопроводів, мостів тощо.

При випробуванні об'єкта або у процесі його експлуатації внаслідок навантаження в зоні передруйнування виникає акустичний сигнал. Інформація про час поширення сигналу, його амплітуду, частотний спектр тощо сприймається розташованими на об'єкті п'єзоелектричними датчиками в широкому діапазоні частот від 1 до 1000 кгц. Обробка одержаної інформації є основною для висновку про природу, місцезнаходження і ріст дефекту. В деяких випадках приблизно можна оцінити якість об'єкта за його власним вільним коливанням від зовнішнього імпульсу. Таким чином, наприклад, визначають якість бандажа коліс залізничних вагонів на основі вібрацій від удару молотка.

19.4.4 Магнітні й електромагнітні методи

Реєстрація і вимірювання магнітних полів і їх неоднорідностей дає змогу контролювати феромагнітні матеріали. У намагніченій деталі магнітні силові лінії мають визначену направленість. Ці лінії обминають дефект, магнітна проникність якого у тисячі разів менша проникності основного металу, й утворюють поле розсіювання (мал. 19.24).



Мал. 19.24. **Розподіл магнітного потоку по перерізу зварного шва:** *а* – якісного; *б* – дефектного

Дефекти, розташовані вздовж магнітних ліній, не є суттєвими перешкодами розповсюдженню потоку, тому важко визначаються. Навпаки, дефекти, які розташовані у напрямку, перпендикулярному до магнітних ліній, визначаються значно легше.

Магнітнопорошковий метод (ДСТУ EN 1290-2002) передбачає нанесення на попередньо очищену контрольовану поверхню спеціальної суспензії або порошку і подальше намагнічування виробу. Під дією магнітного поля часточки феромагнітного порошку переміщуються по поверхні деталі, скупчуються у вигляді валиків над дефектами, що фіксується

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

оглядом, після чого об'єкт розмагнічують. Залежно від способу намагнічування можна визначати різні дефекти.

Так, при поздовжньому з постійним магнітом, соленоїдом виявляються поперечні дефекти. При циркулярному, з пропусканням струму через деталь, визначаються поздовжні дефекти типу тріщин і непроварів. При комбінованому, з пропусканням струму через деталь з електромагнітом, виявляються дефекти, по-різному розташовані у просторі.

При використанні постійного струму збільшується глибина контролю металу. Деталі завтовшки до 20 мм краще намагнічувати змінним струмом, який не потребує розмагнічування. Найкраще виявляються дефекти, розташовані під прямим кутом до магнітного потоку.

Розглянутий метод контролю дає змогу визначити довжину і конфігурацію дефекту, але не інформує про глибину його залягання. Корисним доповненням є застосування потенціометричних датчиків. Пропускаючи струм невеликої напруги і реєструючи падіння напруги біля поверхні, можна визначити глибину тріщини.

Для контролю використовують стаціонарні установки (МД-5, ХМД-10П) та переносні і пересувні (ПМД-70, ПМД-50). Є і портативні апарати на постійних магнітах (МД-4П). Як порошок застосовують мелений закис заліза, сталеві ошурки, кольорові порошки, як суспензію – суміш 50–60 г порошку з 1 л рідини (гасу). Хоча чутливість при використані порошків вища, ніж суспензії, останні привабливіші з точки зору зручності і безпеки.

Магнітографічний контроль базується на виявленні полів розсіювання, які утворюються в місцях дефектів при намагнічуванні контрольованих виробів. Поля розсіювання фіксуються на еластичній магнітній стрічці, щільно притиснутій до поверхні шва. Запис виконується на дефектоскопі і зчитується. При цьому виявляються поверхневі макротріщини, непровари, пори і шлакові вкраплення завглибшки 2–7 % на металі завтовшки 4–12 мм. Погано виявляються пори круглої форми, широкі непровари (2,5–3 мм), поперечні тріщини, напрям яких збігається з напрямом магнітного потоку. Часто результати магнітографічного контролю перевіряють просвічуванням.

Використовується переважно для контролю стикових з'єднань, виконаних дуговим зварюванням, наприклад, з'єднань трубопроводів з товщиною стінки до 20–25 мм. Найефективніше виявляються тріщини, непровари, якщо їх розмір по вертикалі становить 10 % товщини, а також ланцюжки шлакових вкраплень, орієнтованих перпендикулярно до напряму магнітного потоку. При вилученні підсилення чутливість значно підвищується.

Хороші результати контролю досягаються при перевірці швів, виконаних автоматичними методами зварювання, якщо висота підсилювання не перевищує 25 % товщини основного металу. Для виявлення внутрішніх дефектів кращим є постійний струм, для зовнішніх – змінний.

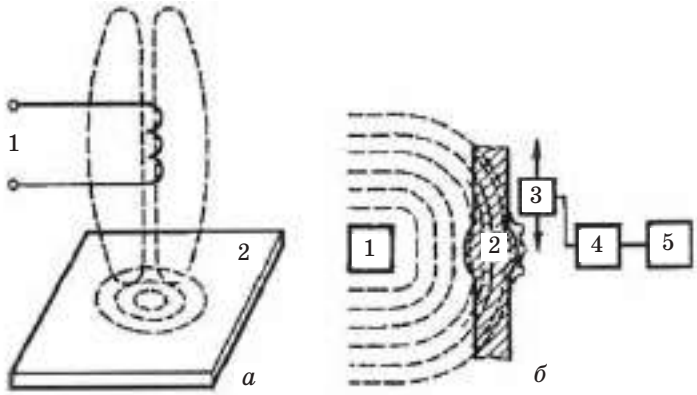
Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

До комплекту для контролю входять намагнічуючий пристрій з П-подібного магнітопроводу, розміщеного на немагнітних роликах, і обмотки. Такими пристроями є, наприклад, прилади ПНУ, ПНУ-М1, УНУ для контролю труб діаметром 150–1200 мм і плоских виробів завтовшки до 16 мм. Магнітна стрічка має лавсанову основу з нанесеними на неї дрібними магнітними часточками (МК-2 завширшки 35 мм), яка може використовуватися при температурі від -70 до +70°С.

Найдосконалішими є дефектоскопи марок МДУ-2У, МД10ИМ, МГК-1 з подвійною індикацією.

Електромагнітний індукційний (вихрострумовий) метод базується на збудженні вихрових струмів у поверхневих шарах об'єкта.

Через котушку 1 (мал. 19.25) пропускається струм змінної сили, що збуджує змінне магнітне поле (вказане штриховою лінією), яке в свою чергу утворює вихрові струми в поверхневих шарах об'єкта 2.



Мал. 19.25. **Схема електромагнітного контролю дефектів:**
а – утворення вихрових струмів в об'єкті; *б* – контроль

Датчик 3 сканує по поверхні об'єкта. В дефектних зонах змінюється струмопровідність, що і фіксується приладами 4 і 5. Для забезпечення контролю потрібно, щоб сигнал вимірювання не менше ніж удвічі перебільшував сигнал перешкоди.

Для виявлення дефектів завглибшки 0,1 мм і завдовжки 2 мм застосовується дефектоскоп ИПП-1М, для дефектів розмірами 0,05 мм – дефектоскоп ИИД-1. Дефектоскопи прохідної системи здатні контролювати внутрішні поверхні виробу (труби великих діаметрів, посудини). У дефектоскопах накладної системи котушка розміщається безпосередньо на об'єкті (для плоских виробів, а також, коли потребується висока чутливість контролю).

Серед сучасних переносних вихротокових дефектоскопів найпоширенішими є ВД-40Н, ВД-30НК. Останній особливо ефективний для контролю великогабаритних деталей складної конфігурації.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Перевагою розглянутого способу є можливість виявлення дефектів у виробах із легованих сталей, алюмінієвих і титанових сплавів, а також дефектів точкового контактного зварювання.

19.4.5. Інші методи

Випробування на твердість здійснюють для контролю якості термічної обробки зварних з'єднань трубопроводів високого тиску з вуглецевих (С) і хромомарганцевих (ХГ) сталей, а також трубопроводів із легованих сталей перлітного і мартенситно-перлітного класів (ХМ і ХФ).

Твердість вимірюють на двох ділянках по колу стику на трубах із зовнішнім діаметром більше 100 мм і на одній ділянці при діаметрі труби менше 100 мм. При автоматичному зварюванні й загальній термічній обробці допускається міряти твердість на одній ділянці незалежно від діаметра труби. Заміри роблять у п'яти точках: по центру шва, на відстані 1–2 мм від межі сплавлення в бік основного металу і на відстані 10–20 мм від межі сплавлення на основному металі.

Випробуванню піддають 15 % загальної кількості зварених кожним зварником протягом місяця однотипних стиків на сталях групи С і ХГ, але не менше двох, і 100 % стиків на сталях групи ХМ і ХФ.

Якість вважається незадовільною, якщо зниження твердості наплавленого металу перевищує 25 НВ порівняно з нижнім значеням твердості основного металу; різниця твердості основного металу в зоні термічного впливу перевищує 50 НВ на сталях групи С і ХГ і 75 НВ на сталях групи ХМ і ХФ. При різниці твердості, що перевищує допустиму, виконується повторна термообробка, а на сталях групи С і ХГ твердість вимірюють на 100 % стиків, а в разі потреби проводять термообробку незалежно від товщини стінки. Якщо така різниця зберігається і після повторної термообробки, проводять стилоскопіювання наплавленого металу всіх однотипних стиків, зварених зварником під час останньої перевірки. У разі невідповідності хімічного складу наплавленого металу заданому стики бракують остаточно.

У монтажних і польових умовах використовують переносні твердоміри типу ТПП-10, ТПК-1, ТШП-4, ТШП-0,75, ТДМ-1 і ТДМ-2.

Стилоскопіювання наплавленого металу виконують для визначення відповідності марок використаних зварювальних матеріалів вимогам технічних умов і виробничих інструкцій на зварювання. Користуються переносними стилоскопами СЛП-1, СЛП-2 і СЛП-4, а також стаціонарними СЛ-12 «Спектр».

При одержанні незадовільних результатів виконують 100 %-ву перевірку однотипних стиків, зварених зварником. Якщо вада підтверджується, проводять хімічний аналіз наплавленого металу, результати якого визнаються остаточними.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Контроль вмісту феритної фази у швах здійснюється для виробів зі сталі групи ХН на 100 % труб, що працюють при температурах вище 350°С і в корозійних середовищах (за наявності вимог у проекті).

Кількість феритної фази перевіряють не менше ніж у п'яти точках на кожній із трьох однаково розташованих вздовж стику ділянок розміром не більше 10 × 10 мм. На трубах діаметром більше 50 мм контролюють дві діаметрально протилежні ділянки. Результати визнаються незадовільними, якщо кількість феритної фази перевищує: 7 % в деталях, призначених для роботи при температурі вище 350°С; 3 % у трубопроводах із хромонікельмолібденових сталей, що працюють у корозійному середовищі, з товщиною стінки труби до 5 мм і в корені на висоті не менше 5 мм – за більшої товщини деталей з тих же сталей з товщиною стінки труби більше 5 мм. Заміряють переносними феритометрами ФА-1, ФМ-10н і альфа-фазометрами.

Для вимірювання глибини проплавлення металу, ширини зони термічного впливу, виявлення внутрішніх дефектів застосовують металографічні дослідження мікрошліфів, вирізаних впоперек зварного шва. За допомогою макрошліфів визначають точність дотримання технології зварювання і термічної обробки.

Зварні з'єднання з легованих феритних аустенітно-мартенситних, аустенітно-феритних і аустенітних сталей перевіряють на схильність їх швів до міжкристалітної корозії. Зразки, вирізані зі зварного з'єднання, протягом певного часу обробляють спеціальним розчином, після чого їх промивають, просушують і згинають під кутом 90°. Наявність тріщин вказує на те, що зразок не витримав випробування.

Газоаналітичні методи засновані на використанні компресійних і вакуумних течошукачів. Їх суть полягає в тому, що з одного боку зварного шва в замкнений простір виробу подається пробний газ, а з другого – відбирається проба газу за допомогою спеціального аналізатора-течошукача. Існують різні схеми контролю: пробний газ подається під збільшеним тиском всередину посудини; контрольований шов обдувається газом і проба відбирається з посудини; виріб витримується в атмосфері пробного газу, а потім відбирається проба газу з виробу. Останній спосіб забезпечує найбільшу чутливість, але визначення місця течі утруднене.

Галогенними течошукачами визначають дефекти за зміною іонного струму при пропусканні через проміжок «анод-колектор» платинового діода газів, що містять галоїди (фреон, хлороформ). У мас-спектрометричних течошукачах проба газу іонізується, і про наявність наскрізного дефекту сигналізує виникнення іонного струму в камері. Як пробний газ використовується гелій.

Для порівняння чутливості різних методів контролю за допомогою течошукачів можна як показник взяти потік газу, що проходить за одиницю часу через найменший дефект, який може бути зафіксований цим методом.

Так, якщо середню чутливість пневматичних або гідравлічних методів ($5 \cdot 10^{-2}$ л · мкм рт. ст./с) взяти за одиницю, то відносна чутливість

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

інших методів буде такою: гасом – 10, хімічною індикацією – 100, галоїдними течошукачами – 500, люмінесцентно-гідравлічними – 1000, масспектрометричними (гелієвими) течошукачами – 5 000 000. *При виборі методу контролю не треба забувати про його економічну доцільність для конкретного виробу. Точніші методи складніші і коштують дорожче.*

Ефективність виявлення дефектів залежить як від їх походження, так і від методів неруйнівного контролю (табл. 19.3).

Таблиця 19.3

Ефективність виявлення різних видів дефектів методами неруйнівного контролю

Вид дефекту	Виявлення дефекту, бал			
	РД	УЗД	МД	КД
Газові пори і шлакові включення	4	4	2	0
Непровари	3	4	3	0
Тріщини внутрішні	4	5	3	0
Тріщини підповерхневі і поверхневі	2	3	4	4
Примітка: У таблиці дефектоскопія позначена так: РД – радіаційна; УЗД – ультразвукова; МД – магнітна; КД – капілярна.				

Порівняльна характеристика методів неруйнівного контролю наведена в табл. 19.4.

В деяких випадках виникає необхідність проведення руйнівних методів контролю зварних з'єднань, які виконуються згідно з ДСТУ ISO 5173:2009 «Випробування зварних з'єднань металевих матеріалів. Руйнівні випробування на згин» та ДСТУ EN ISO 9017:2015 «Випробування руйнівні зварних з'єднань металевих матеріалів. Випробування на переламування», в яких наведені стандартні зразки і обладнання для проведення необхідних досліджень і форми протоколів про їх результати.

19.5. ОРГАНІЗАЦІЯ СЛУЖБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Під контролем якості продукції розуміють перевірку відповідності її показників встановленим вимогам, які зафіксовані у стандартах, кресленнях, технічних умовах, паспорті виробу та інших нормативних документах. Існують різні види контролю залежно від місця його виконання та етапу виробничої діяльності.

Вхідний контроль виконується споживачем матеріалів з інших підприємств і виробничих дільниць. Він дає змогу попередити виникнення дефектів з вини постачальника, зібрати об'єктивну інформацію про отримані матеріали і сформулювати додаткові вимоги до їх якості.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Таблиця 19.4

Порівняльна характеристика методів неруйнівного контролю

Метод контролю	Фізичний ефект	Дефект			Переваги і недоліки порівняно з іншими методами	Сфера використання
		Надійне виявлення	Визначення розташування	Визначення розмірів		
1	2	3	4	5	6	7
Візуально-оптичний	Блиск, колір, контрастність форми	Так	Так	Обмежене	Висока швидкість контролю, не потрібні складні прилади. Недостатня чутливість	Великі поверхневі дефекти, тріщини (лише після травлення)
Магнітний	Розсіяння потоку, проникна здатність магнітних силових ліній	Так	Так	Обмежене	Висока швидкість контролю, незалежність від стану поверхонь, легкість оцінки. Застосовується лише для феромагнітних матеріалів	Поверхневі тріщини, несплавлення, контроль структури, вимірювання товщини шару
Капілярний	Утворення контрастних індикаторних рисунків	Так	Так	Ні	Не потрібні складні прилади. Треба мати доступ до дефектів із поверхні, неможливість контролю пористих матеріалів	Поверхневі пори і тріщини
Електричні: потенціометричний	Електропровідність	Ні	Обмежене	Так	Висока швидкість контролю, не потрібні складні прилади. На точність впливає стан контактів, нерівності поверхні, обмежена глибина проникнення, електропровідність шарів	Вимірювання глибини тріщини, товщини шару металів
вихровими струмами		Так	Обмежене	Так	Не потрібні складні прилади	Контроль будь-яких металів, вимірювання товщини шару

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Продовження таблиці 19.4

Метод контролю	Фізичний ефект	Дефект			Переваги і недоліки порівняно з іншими методами	Сфера використання
		Надійне виявлення	Визначення розташування	Визначення розмірів		
Радіографічний	Поглинання випромінювання	Так	Обмежене	Обмежене	Документування дефекту. Обмежена товщина зразків, плоскісність, двомірне розділення, залежність від кристалічної структури	Об'ємні внутрішні дефекти
Рентгенівський	Інтерференція	Ні	Ні	Обмежене	Те саме	Те саме
Радіоактивний: гамма-випромінюванням бета-випромінюванням	Поглинання випромінювання	Так Обмежене	Обмежене Ні	Обмежене Ні	Документування дефекту, безконтактність вимірювання. Низька чутливість, обмеженість товщин зразків	Об'ємні внутрішні дефекти Вимірювання товщини
Акустичні: ультразвуковий ехоімпульсний	Поглинання Відбиття хвиль	Обмежене Так	Ні Так	Обмежене Обмежене	Великий діапазон товщин і матеріалів. Для оцінки результатів потрібен кваліфікований персонал	Плоскі і об'ємні внутрішні дефекти
Акустична емісія	Шум	Так	Так	Ні	Велика швидкість контролю. Використання можливе лише для контролю під навантаженням, значний вплив шумових перешкод	Визначення розташування тріщини, течопошук
Акустичний за допомогою датчика	Специфічний резонанс	Так	Ні	Ні	Простота й велика швидкість контролю. На якість впливають геометрія і допуски деталей	Контроль відливок і масивних частин деталей

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Операційний контроль призначений для перевірки якості зварного виробу в процесі його виготовлення або після завершення окремої технологічної операції.

Приймальний контроль виконується після завершення всіх технологічних операцій виготовлення виробу. За його результатом і приймається рішення про придатність виробу до експлуатації

Активний контроль передбачає використання його результатів для проектування процесу виготовлення продукції. Прилади активного контролю безперервно передають дані про величину контрольованого параметра і використовуються як датчики для автоматичного керування процесом виготовлення продукції (автоматичне зварювання під флюсом із використанням оптичних датчиків відслідковування ширини розчищення тощо).

Суцільний контроль (100 %) застосовують при перевірці конструкцій відповідального призначення для роботи у складних експлуатаційних умовах. Іноді він економічно неефективний (наприклад, при великій довжині зварних швів).

Вибірковий контроль базується на результатах перевірки вибірки визначеного обсягу. При цьому ділянки контролю обирають із тенденцією до зниження або підвищення вірогідності дефектних одиниць (просвічують або прозвучують усі місця пересікання швів, перевіряють шви, зварені у складних умовах тощо).

Система технічних і адміністративних заходів, спрямованих на забезпечення високого рівня якості, базується на організації контролю на кожному підприємстві. Перед службами контролю ставляться такі завдання:

– ретельне проведення вхідного контролю і складання рекламацій постачальникам;

– здійснення приймального контролю відповідно до вимог технічної документації і стандартів, оформлення документів на забраковану продукцію;

– постійний контроль процесу виготовлення продукції;

– контроль за збереженням сировини, упаковки, консервування, маркування;

– нагляд за дотриманням нормативної документації;

– сприяння розвитку чесного ставлення до праці і контроль за справедливістю винагороди за неї;

– перевірка відповідності кваліфікації зварників виконуваній ними роботі, особливо при виготовленні виробів, підвідомчих Держнаглядохоронпраці України, Регістру судноплавства України тощо;

– проведення статистичного аналізу дефектів на різних стадіях виготовлення виробів – аналіз причин браку і розробка заходів щодо його усування.

Перераховані заходи реалізуються переважно відділом технічного контролю (ВТК) підприємства. Його начальник підпорядкований безпо-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

середньо керівнику підприємства. До складу ВТК входять цехові бюро технологічного контролю (БТК). Вони контролюють випуск із цеху продукції, оформляють документацію, що підтверджує придатність продукції, контролюють якість виконання процесів на робочих місцях, своєчасно перевіряють обладнання і оснащення, за допомогою яких виготовляється виріб. Бюро технологічного контролю підпорядковані майстри ВТК, які, у свою чергу, керують роботою контролерів зварювальних робіт.

Паралельно ВТК діють центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) і відділ неруйнівних методів контролю (ВНМК). Центральна заводська лабораторія контролює хімічний склад, виконує металографічний аналіз, визначає механічні властивості, тобто контролює вироби руйнівними методами. Відділ неруйнівних методів контролю є самостійним структурним підрозділом, він підпорядкований головному інженеру заводу.

До функцій ВНМК входять:

– розробка, удосконалення і освоєння методів контролю виробів, складання інструкцій і карт контролю. В інструкціях описуються нові методики контролю. Карти складають на кожний індивідуальний виріб або групу виробів. У карті містяться всі потрібні відомості для того, щоб контролер міг провести дефектоскопію без будь-яких додаткових документів;

– перевірка і поточний ремонт засобів контролю, які здійснюються перед кожною контрольною операцією або на початку і в кінці зміни. Простий ремонт апаратури, заміну окремих її елементів, виготовлення пристроїв виконують майстерні ВНМК.

Кадри контролерів – спеціалістів середньої ланки і робітників готують централізовано в системі професійно-технічних навчальних закладів або на самих підприємствах. В останньому випадку відомчі організації здійснюють лише контроль якості підготовки.

Для реалізації всіх функцій ВНМК має декілька лабораторій.

Методична лабораторія здійснює розробку інструкцій, стандартів підприємств, рекомендацій, технологічних карт контролю, узгоджує всю конструкторську і технологічну документацію на контроль, займається впровадженням наукової організації контролю виробу. В її обов'язки входить організаційна робота, пов'язана з підготовкою і підвищенням кваліфікації контролерів зварювальних робіт. Лабораторія бере участь у пошуках нових ефективних методів контролю, в дослідних роботах тощо.

Лабораторії рентгенівських, ультразвукових, магнітних, вакуумних методів контролю і капілярної дефектоскопії здійснюють виробничий контроль заготовок і готових виробів існуючими засобами неруйнівного контролю (НК). Лабораторії проводять вибірковий НК за вимогами ВТК і Держнаглядохоронпраці України. За результатами дефектоскопії роб-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

лять висновок про якість перевіреної продукції і її відповідність технічним вимогам нормативно-технічної документації (ДСТУ, ТУ тощо). Результат дефектоскопії реєструють у спеціальних журналах, які зберігаються згідно з існуючими інструкціями. Сумісно з методичною і дослідницькою лабораторіями беруть участь у підборі режимів контролю і складанні нормативно-технічної документації на контроль.

За наявності великої рентгенівської лабораторії (не менше 20 чол.) у складі ВНМК має бути дозиметрична лабораторія, яка здійснює періодичний контроль стану біологічного захисту рентгенівських приміщень і слідкує за рівнем забруднення радіоактивними речовинами поверхонь обладнання, транспортних засобів, контейнерів тощо. Лабораторія контролює одержання, облік, зберігання, перезарядку радіоактивів – радіонуклідів; бере участь у ліквідації аварійних ситуацій.

Лабораторія ремонту і метрологічного забезпечення здійснює систематичний контроль за експлуатацією обладнання і приладів НК, веде профілактичний, поточний ремонт електронної апаратури і її метрологічну перевірку, виготовляє прості технологічні пристрої і контрольні зразки, веде монтаж і випробування нового обладнання і приладів, бере участь у дослідницьких роботах з розробки і модернізації апаратури НК.

Дослідницька лабораторія самостійно і сумісно з науковими організаціями виконує науково-дослідницькі роботи в галузі НК; веде роботи з дослідження, вивчення і використання у виробництві нових спеціальних методів і апаратури з метою підвищення технологічності НК і підвищення продуктивності праці, а також веде дослідження за дорученням інших лабораторій заводу, впроваджує результати науково-дослідних і конструкторських розробок безпосередньо на виробничих дільницях.

Стандартизація в галузі контролю якості забезпечує однаковість підходів до перевірки продукції у різних відомствах, на різних підприємствах країни, в різних умовах виробництва і використання продукції, а також відповідність засобів контролю визначеним вимогам. Вона включає систему ДСТУ, обов'язкових для всієї території країни. Підприємства відповідно до специфіки виробництва розробляють свої інструкції і методики. Неруйнівні методи контролю регламентує одна з груп названих нормативних документів.

Стандарти загального призначення регламентують класифікацію методів контролю, термінології, єдину систему позначень.

Стандарти на засоби контролю поділяють прилади на групи за певними ознаками; визначають основні частини цих приладів і їх параметри, обмежують цифрові ряди або граничні значення параметрів, рекомендованих до використання.

У стандартах на методики контролю різних видів продукції визначеними методами, наприклад, на радіаційний контроль зварних з'єднань, ультразвуковий контроль труб тощо вказано обмеження на види про-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

дукції, типи виявлених дефектів, вимоги до апаратури, що використовується, способи її настроювання, вимоги до підготовки виробів до контролю, оцінки й оформлення результатів.

Метрологічне забезпечення – це установлення і використання наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, потрібних для досягнення однаковості і заданої точності вимірювання.

Засоби вимірювання, що використовуються для спостереження за зміною величин без оцінки їх значень, називають індикаторними. Вони не потребують метрологічної перевірки (капілярний, магнітопорошковий контроль).

Метрологічне забезпечення засобів НК – це сукупність методів, засобів і критеріїв, необхідних для нормування і контролю таких параметрів, які з гарантованою достовірністю забезпечують інформацію про якісні і кількісні характеристики контрольованих об'єктів. Такими параметрами можуть бути похибки вимірювання фізичної величини, якщо прилади мають вимірювальні частини, або порогові (граничні) мінімальні розміри несуцільності (можливість оцінки характеру несуцільностей – кількості, величини тощо). Метрологічну перевірку здійснюють при розробці технічного завдання на вимірювальні прилади, при виготовленні пробних зразків, у порядку метрологічного нагляду і ревізії за станом вимірювальних приборів. На підставі результатів метрологічної атестації складають протокол на кожний прилад, в якому роблять висновок щодо придатності його до виконання контролю.

Контроль якості здійснюється контролером. У його посадовій інструкції викладено основні положення щодо прав і обов'язків, а також критеріїв оцінки ефективності праці.

Основні завдання і посадові обов'язки, наприклад, контролера ВТК при виготовленні листових резервуарів:

– контроль якості і комплектності виготовлених заводом деталей, вузлів, виробів і металоконструкцій, їх відповідності кресленням, будівельним нормам і правилам, технічним умовам тощо;

– клеймування й оформлення документації на прийняту і забраковану продукцію, оформлення актів-пред'явлень, складання картотек на брак. Виконання ескізів, схем і розгорток контрольованих конструкцій, складання технологічного паспорта і відповідне його оформлення;

– контроль правильності використання металопрокату, електродів, флюсів, зварювального дроту у відповідності з вказівками креслень і занесення одержаних результатів контролю в журнал, який ведеться кожного дня, і висновків щодо додержання норм і правил;

– вибірковий контроль оброблених деталей шляхом перевірки відповідності їх розмірів кресленням і правилам підготовки кромок за шаблонами, вимірювання товщини листового прокату;

– контроль якості складання для зварювання шляхом перевірки розмірів складених деталей або деталей, які складаються, за кресленнями і допустимих зазорів;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

– контроль відповідності параметрів режиму зварювання за допомогою приладів згідно з технологічними вказівками. Прилади повинні мати два клейма держперевірки: одне на склі спереду, друге – на корпусі зі зворотного боку;

– стовідсотковий зовнішній огляд усіх типів зварних з'єднань, їх вимірювання;

– випробування зварних стикових з'єднань на щільність вакуум-камерою;

– контроль якості складання і зварювання вузлів, деталей і оснащення (шахтні драбини, центральні стійки, бандажі для упаковки, підкладки);

– контроль за постановкою зварниками особистих клейм;

– контроль правильності маркування готових до відвантаження елементів конструкції;

– оформлення журналу передачі зміни;

– оформлення технічної документації.

Контролер ВТК має право:

– зупинити приймання і заборонити подальше виготовлення і відвантаження продукції у разі відхилення від технічних умов і вимог креслень при виявленні дефектів, недоробок, некомплектності і вимагати їх усування з обов'язковим повідомленням майстра ВТК, керівництва цеху, дільниці, начальника ВТК або його замісника;

– вилучити з приймання пред'явлену цехом продукцію, якщо дані в робочих документах не відповідають фактичній продукції;

– складати картки на брак у разі порушення технології виготовлення і вимагати їх оформлення керівництвом цеху;

– клопотати перед начальником ВТК про покарання винних у зроблених порушеннях.

Об'єктивні критерії позитивної оцінки контролера ВТК: своєчасне і якісне виконання завдань і посадових обов'язків; виконання вимог документації, діючої на підприємстві системи менеджмента якості, інструкцій, методик тощо; висока трудова і виробнича дисципліна; відсутність рекламацій від замовників на якість продукції і послуг.

Об'єктивні критерії негативної оцінки контролера ВТК: невиконання місячних і оперативних завдань керівництва; прийняття рішень, які не сумісні з метою виконаної роботи; дії чи поведінка, які занижують імідж підприємства; безгосподарність, погане ставлення до матеріальних цінностей, майна підприємства; порушення трудової дисципліни, наявність рекламацій, помилок, недоробок і неточностей у роботі; упущення в роботі, що спричиняють значний моральний збиток.

Контролер ВТК несе організаційну і фінансову відповідальність за:

– правильність виконаного ним контролю у відповідності з технічними умовами й інструкціями, кресленнями, картами контролю, в тому числі вхідного контролю сировини, матеріалів, комплектуючих виробів, упаковки і підготовки до відвантаження;

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

– пропускання браку незалежно від того, коли він буде виявлений;

– необґрунтоване відхилення від приймання пред'явленої продукції;

– нечітке, неправильне і несвоєчасне оформлення всієї виробничої документації;

– передачу присвоєного грифа чи клейма іншому робітнику;

– несвоєчасний контроль пред'явленої йому продукції чи виробів у відповідності з планом виробництва і програмою цеху;

– порушення трудової і виробничої дисципліни, правил внутрішнього розпорядку;

– невиконання норм і правил охорони праці, техніки безпеки і протипожежного захисту.

Види відповідальності за невиконання або за невідповідне виконання своїх посадових обов'язків визначаються згідно з діючим законодавством.

На деяких підприємствах виготовляється продукція, підвідомча Держнаглядохоронпраці України, яка додатково до ВТК здійснює контроль якості продукції особливо відповідального призначення, при руйнуванні якої можливі людські втрати або значні матеріальні збитки (посудини і трубопроводи під тиском, вантажопідйомні механізми, газопроводи тощо). Вона діє незалежно від підприємства, і її представники також беруть участь у контролі й оформленні остаточної технічної документації на виготовлену продукцію.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому в зварних швах виникають дефекти?
2. Що спричинює виникнення гарячих тріщин?
3. Чому виникають холодні тріщини?
4. Чому виникають пори? Які допустимі норми наявності пор?
5. Які причини непроварів?
6. За яких порушень технології виникають підрізи і напливи?
7. Що спричинює пропали?
8. Які дефекти виникають при точковому рельєфному та шовному зварюванні?
9. Чому з'являються дефекти при стиковому зварюванні?
10. Які документи визначають допустимість дефектів?
11. Які найпростіші методи застосовуються для контролю якості?
12. Якими руйнівними методами контролюють якість зварних швів?
13. Якими неруйнівними методами контролюють якість зварних швів?
14. У чому полягає сутність ультразвукової дефектоскопії?
15. Чим відрізняється рентгенографія від рентгеноскопії, коли який вид застосовується?
16. Який інструмент використовується для візуальних методів контролю?
17. Які схеми просвічування зварних з'єднань найпоширеніші?
18. Якими УЗ методами контролюють зварні з'єднання?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

19. Як користуватися еталонними відбивачами?
20. Які схеми УЗ контролю застосовують для перевірки якості стикових і таврових швів?
21. Для чого потрібні стандартні зразки під час УЗ контролю?
22. Яка послідовність виконання УЗ контролю?
23. У чому полягає суть електромагнітних методів контролю?
24. Які види контролю застосовують для виявлення дефектів зварних швів?
25. Які функції ВНМК на підприємстві?
26. Яке призначення стандартів на методи контролю?
27. Які основні права і обов'язки контролера зварних з'єднань на підприємстві?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 20

ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ У ЦЕХУ І В МОНТАЖНИХ УМОВАХ

До складу поста – місця виробничої дільниці, спеціально обладнаного для зварювальних робіт, – окрім джерела живлення або спеціальної установки для механізованого зварювання, входять: стіл для зварювання, регулятори струму (баластні реостати), пускова та захисна апаратура, зварювальні кабелі, електродотримач або пальник. Постійне робоче місце називають стаціонарним постом, змінне – пересувним.

Залежно від габаритів зварюваних деталей і характеру виробництва робоче місце може знаходитись у спеціальній кабіні або безпосередньо біля зварюваного виробу.

Кабіна одного зварника має розміри 2 × 2 або 2,5 × 2 м. Її каркас виготовляють із металу, а стіни й підлогу – з вогнестійких матеріалів. Дверний проріз закривають брезентовою завісою з вогнестійким просочуванням. Для складання та зварювання деталей використовують металеві столи заввишки від 0,5 до 0,9 м з ґратами та повітряною витяжкою. До стола може бути прикріплена «кишеня» для електродів та недогарків.

Замість стола в кабіні можна встановлювати кантувачі, маніпулятори та інше механічне обладнання, яке полегшує маніпуляції виробом. Кабіни можуть оснащуватись і консольними кранами для подавання заготовок на зварювання.

У кабіні для зварника є стілець з підйомним гвинтовим сидінням. Поруч із місцем зварника часто розташовують стелажі або контейнери для заготовок і готових виробів, тумбочки з ящиками для зберігання особистих речей та документації.

Живлення постів може бути й централізованим. До кабін від багатопостового джерела живлення з машинного залу проводять мідні шини вздовж будівельних колон.

За конструктивним виконанням електродотримачі поділяють на пасатижні, важільні, защіпні, гвинтові.

Під час зварювальних робіт у незручних для зварника положеннях, усередині металевих споруд чи в інших небезпечних умовах, коли джерела живлення мають напругу холостого ходу більше 70 В, робоче місце повинно мати спеціальний блок зниження цієї напруги до 12 В під час обриву дуги.

Для підведення струму до електродотримача чи виробу від джерела живлення застосовують гнучкі кабелі марок РГД, РГДО, РГДВ. Довжина гнучкого кабелю, з яким з'єднується електродотримач, звичайно дорів-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

нює 2–3 м, інша його частина може замінюватися кабелями марок КРПГН, КРПТН, КРПСН.

В умовах проведення робіт на будівельних і монтажних майданчиках довжина зварювальних кабелів досягає 40–50 м. Для з'єднання виробу з джерелом живлення можна застосовувати дешевий кабель, наприклад, типу ПРН.

Слід пам'ятати, що переріз зворотного кабелю має відповідати перерізу основного зварювального кабелю.

Для рознімного з'єднання відрізків зварювальних кабелів між собою застосовують сполучні муфти МС-2, МСБ-2, М-315, М-500 тощо.

Нерознімні з'єднання зварювальних кабелів отримують за допомогою з'єднувачів типу ССП-2, які складаються зі струмопідводу та гвинтів.

Зварювальний кабель до джерела живлення може підключатися через приєднувальну муфту МС-3, одна з півмуфт якої аналогічна півмуфті МС-2 або МСБ-2, а інша, замість кінця з проводом, має вихідну деталь з отвором, яка насаджується на контактний болт джерела живлення.

Зворотний кабель до виробу, що заземлюється, приєднують клемами заземлення типу КЗ-2 та КЗП-12.

На своєму робочому місці зварник повинен мати додатковий інструмент: сталеву щітку для зачистки кромок виробу перед зварюванням та видалення з поверхні швів залишків шлаку, молоток-шлаковіддільник для видалення шлакової кірки і бризок та для проковування швів, зубило, набір шаблонів для контролю розмірів швів, особисте клеймо, метр, висок, сталеву лінійку та косинець. Іноді зварник має на своєму посту шліфувальну машинку (КПМ-37) з набором абразивних кругів і металевих щіток.

Інструменти й електроди зберігаються в спеціальних ящиках, сумках або пеналах.

Для сушіння електродів використовують спеціальні пенали, які підключаються до зварювального джерела живлення. Необхідна температура в пеналах (100–110°С) забезпечується дотиком на 40–60 с електродотримача до вивідної клеми пенала (спіраль підігрівання в його внутрішній порожнині). Температура в пеналі зберігається протягом 1–1,5 год.

При зварюванні неплавким вольфрамовим електродом в інертних захисних газах первинне збудження дуги здійснюється безконтактним способом. Для цього використовуються осцилятори та збудники дуги.

Збудники дуги можуть бути паралельно і послідовно з'єднаними (осцилятори типу ОСППЗ-300-М та збудник дуги УПД-1) для живлення дуги змінним або постійним струмом.

Захисні гази на робочі місця надходять по трубопроводах централізовано від спеціальних постачальних баз, посудин або автономних станцій. Індивідуальне постачання захисних газів до кожного робочого місця ви-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

конується від одного або кількох балонів, які розташовують безпосередньо біля поста зварника.

Зниження тиску стиснутого газу до потрібного робочого та підтримка його на певному робочому рівні незалежно від тиску в балоні чи в мережі здійснюється редукторами.

Робочі місця зварника-напівавтоматника мають спеціальну апаратуру для підготовки і використання захисних газів і їх сумішей: підігрівачі й осушники газів, витратоміри-ротаметри, електрогазові клапани.

Підігрівачі газів застосовують при зварюванні у вуглекислому газі, а осушники – при зварюванні у вуглекислому газі, отриманому з харчової (неосушеної) вуглекислоти. Підігрівач виготовляють у вигляді електронагрівача-змійовика, через який пропускається газ.

Осушник газу використовують для вбирання вологи. Його встановлюють на балоні перед редуктором. Внутрішня порожнина корпусу осушника заповнена вбирачем вологи – зневодненим мідним купоросом або силікагелем марки ШСМ. Перед заповненням вбирач вологи прожарюється при температурі 200°С протягом 2 год. Осушник розрахований на осушування 30–35 м^3 вуглекислого газу при одній зарядці.

Для приготування сумішей газів безпосередньо на робочому місці використовують змішувачі газів. Для більш точного контролю витрат газів застосовують витратоміри-ротаметри різних типів.

Газоелектричні клапани забезпечують економне витрачання захисного газу і його попереднє або з деяким запізненням постачання порівняно з подачею зварювального струму і дроту за відповідними реле.

Під час зварювання в монтажних, польових умовах, поруч з виробом або на ньому, в місцях концентрації робітників треба обов'язково застосовувати ширми або світлонепроникні щити з негорючих матеріалів заввишки не менше 1,8 м. На відстані до 5 м від зварюваного стика перебування сторонніх осіб, не зайнятих безпосередньо зварюванням, заборонене. Джерела живлення і допоміжна апаратура мають розміщуватися в будках або під навісом для захисту від механічних пошкоджень і атмосферних опадів. Заборонено виконувати електрозварювальні роботи під час дощу, снігопаду і грози.

Якщо зварювання виконується у траншеї, треба перевіряти кріплення стінок, стійкість тимчасових огорож місця роботи. Величина просвіту між ґрунтом і зварюваним стиком має бути не менше 500 мм. Під час зварювання на висоті (1,3 м і більше) слід використовувати риштування або спеціальні площадки завширшки не менше 1 м з огорожею заввишки 1 м. За неможливості утворення помосту чи риштування застосовують запобіжний пояс і страхувальний канат або використовують будівельні вишки, наприклад, ВС-22. Заборонено застосування приставних драбин.

У разі одночасної роботи по одній вертикалі на різних рівнях робочі місця треба обладнати на кожному ярусі козирками, глухими настилами

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

і тентами для захисту від бризок розплавленого металу, недогарків, іскор і падаючих предметів.

При роботі в закритих або обмежених просторах обов'язкова присутність робітника зі страхувальним канатом, безперервна вентиляція об'єму, де виконується зварювання, а в деяких випадках використання зварником шлангового протигаза з примусовою подачею свіжого повітря до органів дихання (мал. 20.1) і обов'язкові перерви для виходу на свіже повітря.

Мал. 20.1. **Спеціальна захисна маска з примусовою подачею свіжого повітря до органів дихання зварника**

Не допускається виконання зварювальних робіт на посудинах під тиском, всередині них, не очищених від легкозаймистих, вибухонебезпечних, горючих і токсичних речовин, свіжопофарбованих конструкцій до повного висихання фарби, одночасне виконання електро- і газозварювальних робіт всередині замкненого простору.

Індивідуальними засобами захисту зварника є захисна каска зі струмонепровідних матеріалів, яка часто поєднується із маскою, і захисний щиток. Виготовляються з фібри або спеціальних пластмас і мають світлофільтри, марки яких вибираються залежно від способу зварювання і сили струму.

Існують зарубіжні маски, в яких реалізовано електронне керування затемненням світлофільтра залежно від сили струму, причому, якщо ду-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ги немає, світлофільтр прозорий, а після запалювання дуги він стає затемненим через 0,00004 с, тому зварнику нема потреби кожен раз піднімати маску (мал. 20.2). Крім того, збільшується зона огляду, що покращує умови праці. Із зовнішнього боку світлофільтр затуляють прозорим склом завтовшки до 2,5 мм, яке в міру забруднення міняють.

Мал. 20.2. **Захисна маска з електронним керуванням зміни ступеня затемнення світлофільтра фірми «Jackson Products» (США)**

З метою запобігання тепловим опікам зварник має працювати у спецодязі, рукавицях і черевиках, поверх яких у разі зварювання і різання у вертикальному, горизонтальному і стельовому положеннях одягаються спеціальні гетри (мал. 20.3).

Костюм зварника виготовляється зі спеціальної тканини (65 % бавовни, 35 % поліестеру), яка просочена спеціальною сумішшю, що робить її стійкою до горіння, до дії ультрафіолетових променів. Тканина не псується металевим пилом і вологою, витримує до 40 пральних циклів і відповідає вимогам європейських стандартів ЕМ 470-1, ЕМ 531 і ЕМ 533.

При стельовому зварюванні костюм доповнюється брезентовими нарукавниками, які щільно зав'язують на кистях рук. У разі виконання зварювання на самому виробі застосовуються повстяні мати з гумовими прошарками, наколінники і підлокітники для захисту від холодного металу.

Гази й аерозолі поза кабіною видаляються пересувними вентиляційними пристроями. Вони працюють як звичайний пилосос (мал. 20.4).

При роботі всередині посудин зварник користується діелектричним килимом, калошами і гумовим шлемом.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Мал. 20.3. **Повна екіпіровка зварника (*а*), рукавиці (*б*) і гетри (*в*)**

Мал. 20.4. **Пересувний вентиляційний пристрій фірми «Nederman» (США):**
1 – пилогазоприймач; 2 – гнучкий шланг; 3 – повітряний фільтр

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як потрібно обладнати стаціонарний пост для ручного і напівавтоматичного зварювання?
2. Як потрібно обладнати пост для ручного і напівавтоматичного зварювання в монтажних умовах?
3. Навіщо застосовуються збудники дуги?
4. Як розрізнюються балони для стиснутих і скраплених газів?
5. Що таке ротаметри, за яким принципом вони працюють?
6. Якими мають бути одяг і взуття зварників?
7. Як підбираються захисні світлофільтри в щитки і маски?
8. Яким чином зварник захищається від отруєння газами і пилом?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 21

ОХОРОНА ПРАЦІ Й ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ І РІЗАЛЬНИХ РОБІТ

Відповідно до статті 28 Закону України «Про охорону праці» Міністерством надзвичайних ситуацій України видано наказ від 14.12.2012 № 1425 «Про затвердження Правил охорони праці під час зварювання металів», які поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правових форм, діяльність яких пов'язана з обробленням металів та нанесенням покриттів на метали, а також механічним обробленням металевих виробів.

21.1. ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Специфіка складально-зварювальних і різальних робіт висуває збільшені вимоги до техніки безпеки, обслуговування апаратури й обладнання, а також до методів організації безпечного проведення робіт. У першу чергу безпека залежить від рівня професійної майстерності зварника, знання, вміння і достатньо твердих практичних навичок.

Основні небезпеки та шкідливості, що призводять до виробничих травм при зварюванні:

– ураження електричним струмом під час електрозварювальних робіт;

– ураження зору та відкритої поверхні шкіри випромінюванням електричної дуги;

– отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні;

– травми від вибухів балонів стиснутого газу, ацетиленових генераторів і посудин з-під горючих речовин;

– пожежна небезпека та опіки;

– механічні травми під час заготівельних і складально-зварювальних операцій;

– небезпека радіаційного враження під час контролю зварних з'єднань радіаційними методами.

Електробезпека. Враження електричним струмом відбувається при дотику до струмонесучих частин електропроводки та зварювальної апаратури, що застосовується для дугового контактного та променевого видів зварювання. Струми, що проходять через тіло людини, більші за 0,05 А (при частоті 50 Гц), можуть спричинити важкі наслідки й навіть смерть (> 0,1 А). Опір людського організму залежно від його стану (стом-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

леність, вологість шкіри, стан здоров'я) змінюється в широких межах – від 1000 до 20 000 Ом. Напруга холостого ходу джерел живлення нормальної дуги досягає 90 В, а стиснутої – 200 В. Тому при поганому самопочутті зварника через нього може пройти струм, близький до граничного, – 0,09 А.

Електробезпека забезпечується:

– виконанням вимог електробезпеки до електрозварювального обладнання, надійною ізоляцією, застосуванням захисних огорож, автоблокуванням, заземленням електрообладнання та його елементів, обмеженням напруги холостого ходу джерел живлення (генератори постійного струму до 90 В, трансформатори до 75 В). Довжина проводів між мережею живлення і пересувним зварювальним агрегатом має не перевищувати 15 м. При роботі в утруднених умовах або в закритих посудинах зварювальна установка повинна мати блокуючий пристрій для автоматичного вимкнення зварювального кола або зниження напруги при обриві дуги до 12 В. Під час зварювання на змінному струмі можна використовувати пристрій для зниження вторинної напруги джерела живлення типу БСНТ-4. Корпуси зварювальних апаратів, каркаси розподільних щитів і шаф потрібно заземлювати мідним проводом перерізом не менше 6 мм^2 або сталевим – перерізом не менше 12 мм^2. Температура нагрівання окремих частин зварювального агрегату не повинна перевищувати 75°С;

– індивідуальними засобами захисту (робота в сухому та міцному спецодязі та рукавицях, у черевиках без металевих шпильок та цвяхів);

– додержанням безпечних умов роботи (припинення роботи під час дощу та сильного снігопаду, коли немає укриття; користування гумовим килимком, гумовим шоломом та калошами при роботі всередині місткості, а також переносною лампою напругою не більше 12 В; ремонт електрозварювального обладнання та апаратури спеціалістами-електриками).

Захист зору та відкритої поверхні шкіри. Електрична зварювальна дуга створює три види випромінювання: світлове, ультрафіолетове, інфрачервоне.

Світлові промені засліплюють, бо їх яскравість значно перевищує допустимі норми. Ультрафіолетове випромінювання навіть при короткочасній дії протягом кількох секунд спричинює захворювання очей, що називається електроофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різзю в очах, сльозовиділенням, спазмами повік. Тривала дія ультрафіолетового випромінювання призводить до опіків шкіри, інфрачервоного – до помутніння кристалика ока (катаракта), що може спричинити послаблення та втрату зору. Теплова дія цих променів викликає опіки шкіри.

Захист зору та шкіри обличчя при дуговому зварюванні забезпечується використанням щитків, масок або шоломів із жаростійких діелектриків (фібри, просоченої спеціальним розчином, фанери тощо) із

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

захисним склом – світлофільтрами (розмір 52 × 102 мм), що витримують і поглинають випромінювання дуги. Залежно від потужності дуги застосовують різні світлофільтри. Для захисту від випромінювання дуги в стаціонарних умовах встановлюють захисні кабіни, а при будівельних і монтажних роботах використовують переносні щити та ширми. Для захисту тіла застосовують спецодяг із цупкого брезенту чи сукна, іноді з азбестової тканини.

Захист від отруєння шкідливими газами, пилом і випарами. Склад і кількість шкідливих газів, пилу та випарів залежать від виду зварювання, складу захисних засобів (покриття, флюсів, газів), зварюваного та електродного матеріалів. Кількість зварювального пилу (аерозолі) та легких сполук при зварюванні становить від 10 до 150 мг на 1 кг розплавленого електродного металу. Основними їх складовими є оксиди заліза (до 70 %), марганцю, кремнію, хрому, фтористі та інші сполуки. Найшкідливішими є хром, марганець та фтористі сполуки.

Крім аерозолей, повітря у робочих приміщеннях при зварюванні забруднюється різними шкідливими газами: оксидами азоту, вуглецю, фтористим воднем тощо.

Крім короткочасних отруєнь, що виявляються запамороченням, головним болем, нудотою, блюванням, слабкістю тощо, отруйні речовини можуть спричинювати хронічні захворювання внаслідок відкладення в тканинах організму людини. Особливу увагу слід звертати на концентрацію марганцю, бо його наявність у повітрі більше 0,3 мг/м^3 може призвести до важких захворювань нервової системи.

Найшкідливішим є зварювання покритими електродами, а при автоматичних методах зварювання кількість шкідливих виділень значно менша.

Основними заходами, спрямованими на захист від отруєння шкідливими виділеннями при зварюванні та на поліпшення умов праці, є:

– застосування місцевої та загальнообмінної вентиляції;

– механізація та автоматизація зварювальних процесів;

– заміна шкідливих процесів і матеріалів менш шкідливими (наприклад, заміна електродів з кислим покриттям з великим вмістом оксиду марганцю на рутилові);

– застосування ізолюючих та захисних пристроїв;

– в особливо небезпечних випадках використання індивідуальних засобів захисту (респіратори з шоломом, протигази).

Пожежна безпека. Причинами пожежі під час зварювальних робіт можуть бути іскри та краплі розплавленого металу та шлаку, необережне поводження з полум'ям пальника при наявності горючих матеріалів поблизу робочого місця зварника. Небезпеку пожежі особливо слід враховувати на будівельно-монтажних майданчиках і при ремонтних роботах у непристосованих для зварювання приміщеннях.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Основні вимоги пожежної безпеки викладено в «Правилах пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства». Місця, де виконується зварювання, мають бути оснащені вогнегасниками, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м від зварювальних постів, оштукатурюють або оббивають листовим азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій у глинистому розчині. В зоні попадання бризок металу та іскор не допускається перебування займистих предметів. Легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали мають знаходитись на відстані не менш як 30 м від місця зварювання. Дерев'яні підлоги, настили, помости при потребі захищають від іскор і крапель розплавленого металу та шлаку листами азбесту чи заліза. Зварників забезпечують спецодягом, взуттям, рукавицями та головними уборами.

Для вибухобезпеки зварювальні роботи в резервуарах з-під горючих продуктів виконують лише після їх ретельної очистки від залишків продуктів і дво-, трикратного промивання гарячим 10 %-им розчином лугу з наступним продуванням парою чи повітрям. Газопроводи можна ремонтувати лише після їх ретельного продування.

Травми (удари, порізи) трапляються при заготівельних і складально-зварювальних операціях. Вони спричинюються недодержанням техніки безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні при заготівельних операціях; відсутністю пристроїв для транспортування і складання важких деталей; несправністю транспортних засобів – візків, ланцюгів, тросів, захоплювачів; недотриманням персоналом основних правил такелажних робіт; несправністю інструменту – кувалд, молотків, зубил, ключів тощо.

Основними заходами зі зниження травматизму є продумані з точки зору безпеки робіт технологія заготівлі, складання та зварювання, правильне оснащення робочих місць та додержання персоналом правил техніки безпеки.

21.2. ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ

Основними джерелами небезпеки при газовому зварюванні є:

– вибухи ацетиленових генераторів від зворотних ударів полум'я, коли не спрацьовує водяний затвор;

– вибухи кисневих балонів у момент їх відкривання, якщо на штуцері балона чи на клапані редуктора є мастило;

– небезпека пожежі в приміщенні, займання волосся та одягу, опіки зварника при необережному поводженні з пальником;

– опіки очей у разі, коли зварники не користуються світлофільтрами;

– отруєння шкідливими газами, що накопичилися, коли немає припливно-витяжної вентиляції в приміщеннях.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Безпечна робота під час газового зварювання і різання можлива лише при правильному поводженні з матеріалами, обладнанням та апаратурою згідно з «Правилами техніки безпеки та виробничої санітарії при виробництві ацетилену, кисню та при газополуменевій обробці металів».

Слід пам'ятати, що накидна гайка і штуцер для під'єднання ніпеля для ацетилену має ліву різь, а кисневий ніпель приєднується накидною гайкою з правою різзю.

До виконання газозварювальних і газорізальних робіт допускаються робітники не молодші 18 років, які пройшли спеціальне навчання з перевіркою знань безпечної роботи.

Забороняється працювати без водяного затвора чи при несправному водяному затворі; не можна до одного водяного затвора приєднувати кілька пальників або різаків.

Потрібно суворо додержуватися правил поводження та догляду за ацетиленовими генераторами згідно з інструкцією з експлуатації.

Треба бути обережним при роботі з карбідом кальцію: зберігати його в сухих, добре провітрюваних, вогнестійких приміщеннях; на місці виконання робіт зберігати карбід кальцію в непошкоджених барабанах зі щільно закритою кришкою; розкривати барабани з карбідом кальцію слід лише спеціальним інструментом, що запобігає можливості утворення іскор; треба захищати барабани від поштовхів і ударів.

Слід захищати кисневі балони від поштовхів і ударів при транспортуванні та зберіганні. Для забезпечення вибухобезпеки транспортувати балони дозволяється на ресорних транспортних засобах, спеціальних ручних візках і носилках, у спеціальних контейнерах. Балони слід надійно кріпити у вертикальному положенні на значній відстані від нагрівальних приладів, у захищеному від дії сонячних променів місці. Сумісне зберігання балонів з горючими газами та киснем не допускається.

Експлуатація брудних, із вм'ятинами, подряпинами та несвоєчасно випробуваних балонів не допускається. Особливо слід звертати увагу на відсутність мастила і бруду на штуцерах вентилів кисневих балонів.

Під час газополуменевої обробки зварники повинні працювати у спецодязі, рукавицях і захисних окулярах зі склом Г-1, Г-2 і Г-3, а допоміжні робітники – в окулярах зі склом В-1, В-2 і В-3. Зі збільшенням потужності полум'я потрібно застосовувати скло з більшим номером, якнайтемніше.

При виконанні газополуменевих робіт всередині відсіків, ям і резервуарів, де можливі накопичення шкідливих газів, мають працювати переносні припливно-витяжні вентилятори.

До виконання робіт з рідким пальним можуть допускатися лише спеціально навчені робітники, що мають відповідні посвідчення. Застосування рідкого пального на стапельних роботах і в закритих приміщеннях (котли, цистерни тощо) забороняється. Неприпустиме застосування етилованого бензину з великим октановим числом. При роботі на рідко-

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

му пальному можна користуватися лише бензомаслостійкими шлангами із внутрішнім діаметром 6 мм та довжиною не менше 5 м.

21.3. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Для безпечної та безаварійної експлуатації обладнання при контактному зварюванні необхідно дотримуватись «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустаткування споживачів» Держенергонагляду та вимог Державного стандарту України – ДСТУ 2456-94 (Система стандартів безпечної праці контактного зварювання. Вимоги безпеки).

Контактні машини випускають зі ступенями захисту електродної частини IP00 (IP20) – відповідно для частин, що знаходяться під напругою мережі.

Розміщення обладнання контактного зварювання, а також їх органів керування має забезпечувати вільний, зручний та безпечний доступ до них, а також можливість швидкого вимикання обладнання і зупинку всіх його механізмів.

Ширина проходів між машинами точкового, рельєфного і шовного зварювання при розташуванні робочих місць одне напроти іншого має бути не меншою 2 м, а між машинами стикового зварювання – не меншою 3 м. Якщо машини стоять затилковими боками одна до іншої, ширина проходів має бути не меншою 1 м, при розташуванні передніми і тильними боками – не меншою 1,5 м.

Машини для стикового зварювання повинні мати огорожу, яка захищає обслуговуючий персонал від виплесків металу й іскор та дає можливість спостерігати за процесом зварювання, відкидні прозорі екрани, а також пристрої для місцевої витяжної вентиляції.

У приміщеннях, де експлуатується обладнання контактного зварювання, не можна зберігати пальні та легкозаймисті матеріали.

Вторинна напруга холостого ходу зварювального трансформатора не може перевищувати 42 В, для ланцюгів постійного струму – 110 В.

Головною небезпекою при роботі на контактних машинах є електричний струм, розплавлені часточки металу та рухомі частини машин.

У сучасних машинах передбачена система блокування для запобігання враженню струмом великої напруги (наприклад, закрито доступ до перемикача при невимкненій первинній мережі; заблоковані дверцята шаф, пультів, станин з відкритими струмоведучими частинами, щоб забезпечити зняття напруги при їх відкриванні). Експлуатація обладнання з несправними блокуваннями заборонена.

До роботи на контактних машинах допускаються робітники після спеціального навчання, інструктажу (ввідного, первинного на робочому місці та періодичного) з техніки безпеки та складання іспитів.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Перед початком роботи зварник повинен ретельно оглянути і перевірити машину.

Особливу увагу звертають звичайно на цілісність заземлення, пускових та вимикаючих пристроїв, закриття дверей, стан ізоляції дротів, наявність захисних кожухів та попереджуючих написів. Не дозволяється попадання води, масла і мастила на ізоляцію електропровідних елементів.

Зварнику також треба пам'ятати, що не можна зачищати, заправляти і замінювати електроди на машині, яку не вимкнуто із мережі живлення, змащувати частини машини під час роботи. Необхідно своєчасно перевіряти й усувати витікання води, масла, мастила та повітря.

До роботи з електричною схемою машини допускаються тільки електрики-наладчики. Робітнику-зварнику, який експлуатує зварювальну машину, забороняється виконувати будь-які ремонтні роботи.

Захист робітників від бризок металу і запобігання опіків забезпечується спецодягом із вогнестійкої бавовняної чи брезентової тканини, куртками, рукавицями, безбарвними окулярами закритого типу, а при стиковому зварюванні – додатковим шоломом. Для захисту ніг робітника від опіків та механічних травм використовується спеціальне взуття.

Наладниками зварювального обладнання можуть бути робітники з кваліфікацією зварника 3–6-го розряду, які атестовані з техніки безпеки з наданням кваліфікаційної групи не нижче III.

Наладник відповідає за безперебійну експлуатацію обладнання, що закріплюється за ним. На одного наладника звичайно припадає по 8–10 однотипних однофазних машин або до 5 трифазних.

Наладник здійснює налагодження на потрібні режими зварювального обладнання, виконує дрібний ремонт обладнання на робочому місці, систематично перевіряє виконання робітником-зварником усіх правил експлуатації обладнання.

Наладник спостерігає також за роботою та терміном дії вимірювальних приладів, що є у зварювальному обладнанні, та відповідає за їх своєчасну державну перевірку.

Налагодження, огляд, змащування й ремонт контактного обладнання звичайно виконується між змінами, під час перерви, у середині змін та у вихідні дні.

Окрім зварника й наладника за безпечну експлуатацію зварювальних машин, а також за дотримання потрібних параметрів режиму відповідають виробничий майстер дільниці або майстер зі зварювання. Майстер повинен своєчасно інструктувати робітників з правил безпечної експлуатації та догляду за обладнанням, забезпечувати робітників і наладників інструментами, матеріалами, запасними частинами, перевіряти стан обладнання, що передається попередньою виробничою зміною наступній зміні.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Забезпеченням енергоживлення зварювальних машин займається служба головного енергетика підприємства. Вона ж контролює працездатність цехових енергетичних комунікацій, що належать до зварювального обладнання, якість ремонтних робіт та технічний стан зварювального обладнання між ремонтами, упорядковує разом зі службою головного зварника заявки на придбання потрібної апаратури, приладів і запасних частин для експлуатації та ремонту зварювального обладнання.

За електрозварювальне обладнання відповідає також цеховий енергетик або інший службовець, за яким закріплено це обладнання. Він повинен перевіряти технічний стан, спостерігати за роботою обладнання та з'ясовувати за необхідності причини виходу його з ладу, інструктувати персонал, що обслуговує та експлуатує обладнання, а також організовувати ремонтні роботи, які передбачаються графіками планово-попереджувальних ремонтів (ППР), забезпечувати загальне технічне керівництво роботами з ремонту зварювального обладнання, котре потім приймає як член спеціальної комісії.

Окрім енергетика, до цієї комісії входять представники відділів головного енергетика і головного зварника та майстер зварювальної дільниці.

Службовці відділів головного зварника та головного технолога забезпечують раціональне розташування зварювального обладнання та максимальне використання його технологічних можливостей, розробляють технічну документацію на проектування спеціальних обладнання та оснастки, допомагають цехам і дільницям автоматизувати та механізувати зварювальні процеси, освоїти нове обладнання, організовують підвищення кваліфікації робітників-наладників і зварників.

21.4. ДЕФЕКТОСКОПІЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Більшість засобів неруйнівного контролю в процесі роботи частково чи повністю знаходяться під напругою, тому при їх експлуатації треба дотримуватися всіх правил електробезпеки. Особливо небезпечне обладнання з напругою більше 1000 В (рентгенівські апарати). Оператори мають пройти виробниче навчання користування ним і після складання іспитів одержати відповідне свідоцтво, де вказана їхня кваліфікація відповідно до кваліфікаційних груп персоналу з техніки безпеки. При проведенні радіаційної дефектоскопії треба вжити заходів щодо захисту від іонізуючого випромінювання згідно з «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений» (ОСП-72/80) і «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-76).

Останнім документом встановлено гранично допустимі дози (ГДД) і межі випромінювань. Для осіб категорії А (персонал – оператори) ГДД є 0,05 Зв на рік, а для осіб категорії В (населення) – 0,005 Зв на рік.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

До категорії Б належать особи, які працюють у приміщеннях, суміжних з тими, де працює персонал категорії А, а також особи, що перебувають у межах санітарно-захисної зони підприємства чи проживають на території, розташованій неподалік від промислових підприємств. Серед осіб категорії А виділяють 2 групи: 1-ша – особи, умови праці яких такі, що дози випромінювання можуть перевищувати 0,3 річного ГДД; вони повинні мати прилади індивідуального дозиметричного контролю (КНД-2, ИФКУ-1, ДК-0,9) і знаходитися під медичним наглядом; 2-га – особи, умови праці яких не спричинюють перевищення дози випромінювання 0,3 ГДД (працюють у межах санітарно-захисної зони або періодично відвідують контрольовану зону, вони не потребують такого контролю).

Для захисту від випромінювання треба використовувати екранування – послаблення випромінювання шаром важкого матеріалу (свинцю, свинцевого скла, вольфраму, бетону тощо). Захист має забезпечити зниження дози на робочих місцях до 28 мкЗв на годину, а в суміжних приміщеннях – 2,8 мкЗв на годину.

У процесі роботи рентгенівських апаратів і гамма-дефектоскопів на відкритих майданчиках необхідно направляти джерело випромінювання в бік землі, обмежувати час знаходження персоналу біля джерела випромінювання, встановлювати пересувні огорожі і захисні екрани, вішати знаки радіаційної безпеки. Зарядка і перезарядка джерел гамма-випромінювання має виконуватись спеціалізованою організацією або персоналом з дотриманням певних умов. Самі дефектоскопи з джерелом іонізаційного випромінювання треба зберігати у спеціальних сховищах.

21.5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗІ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Залежно від складності конструкції виробу, програми випуску і типу зварювального виробництва робоче місце для виконання складально-зварювальних робіт обладнується устаткуванням для зварювання, складальними стендами та кондукторами, пристроями для повороту виробу в зручне для зварювання положення, візками для зварювання, складськими місцями для зберігання заготовок, готових виробів, інструментів, підйомно-транспортними механізмами тощо.

Для зменшення втомлюваності та забезпечення зручності в процесі виконання технологічних операцій потрібно приділяти особливу увагу таким психофізіологічним і технічним чинникам:

1) комфортності повітряного середовища (температура 16–18°С, вологість 50–60 %, швидкість руху повітря 0,3–0,5 м/с, об'єм повітря на людину 25–37 м^3);

2) освітленості робочого місця залежно від характеру роботи (в межах 200–500 лк);

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

3) рівню допустимого шуму (не більше 85 дБ);

4) висоті розміщення базових поверхонь пристроїв (800–1000 мм від підлоги);

5) забезпеченню простору для ніг робітника (заввишки та завглибшки не менше 150 мм);

6) при роботі на висоті обладнанню пристрою поручнями та по всьому периметру бортиком заввишки 400 мм, який запобігає зісковзуванню вниз заготовок та інших предметів;

7) відповідності пристрою ергономічним та естетичним вимогам:

8) фарбуванню пристрою, має бути світло-зеленим, блакитним, рожевим, салатних тонів за виключенням тих вузлів, які небезпечні з точки зору травматизму. Їх фарбують у яскраві сигнальні кольори.

У період експлуатації не допускається навантаження фіксаторів, притискачів, опорних та несучих елементів пристроїв випадковими зусиллями, на дію яких ці елементи не розраховані (наприклад, складання деформованих заготовок), що може призвести до перенавантаження перерахованих елементів пристроїв, їх руйнування і травмування робітника.

Придатність пристрою до експлуатації засвідчується паспортом, в якому наводяться принцип дії і конструкція пристрою, термін впровадження та тривалість експлуатації, види несправностей і послідовність ремонтних робіт, базові розміри та їх граничні відхилення, величина зносу та усі зміни в конструкції пристрою. У паспорт також заносяться результати контрольних випробувань пристрою під час приймання його складально-зварювальним цехом та результати періодичних перевірок.

21.6. НАДАННЯ ПЕРШОЇ ДОПОМОГИ ПРИ НЕЩАСНИХ ВИПАДКАХ

У разі будь-якого нещасного випадку перш за все потрібно викликати швидку допомогу, після чого негайно приступити до надання допомоги власноручно.

Допомога неспеціалістів у галузі медицини обмежується зупинкою кровотечі, перев'язкою рани чи опіку, штучним диханням, накладанням фіксуючої пов'язки при переломі, переносом і перевезенням потерпілого. В аптечці першої допомоги на дільниці чи в бригаді мають бути спиртовий розчин йоду, бинти, вата, розчин борної кислоти, цинкові краплі, піпетки для очей, нашатирний спирт, сода, марганцевокислий калій, ефірно-валеріанові краплі, складні фанерні шини, подушка з киснем або карбогеном.

При враженні електричним струмом треба звільнити потерпілого від електропроводів (з дотриманням техніки безпеки), забезпечити доступ свіжого повітря, при втраті свідомості негайно викликати швидку медичну допомогу, а до прибуття лікаря робити штучне дихання.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

При електроофтальмії на очі потрібно покласти вату, змочену в холодній воді, а краще в слабому розчині питної соди чи в 2 %-ому розчині борної кислоти, а потерпілого бажано перевести в темне приміщення.

При загорянні на людині одягу треба накинути на неї будь-яку річ – брезент, мішок, ковдру і притиснути до тіла, а при наявності води – облити її водою. Якщо людина знепритомніла, треба винести її на свіже повітря. При тяжких опіках обережно зняти одяг і взуття (краще розрізати їх), обпалене місце змастити препаратами «Лівія», «Panthenol» тощо, покрити стерильним матеріалом, накласти вату і перев'язати.

Опіки хімічними речовинами промивають водою протягом 10–15 хв. При опіках кислотою роблять примочки з содового розчину, лугом – з розчину борної кислоти чи слабкого розчину оцту.

При отруєнні газами треба перш за все винести потерпілого на свіже повітря, розстібнуи одяг. Дати понюхати нашатирний спирт, розтерти шкіру, зігріти, коли холодно, зробити штучне дихання, дати подихати киснем (особливо при отруєнні СО).

У разі перегріву при роботі влітку на відкритому повітрі (тепловий удар) потерпілого слід перенести в прохолодне місце, зняти одяг, змочити голову і ділянку серця холодною водою, дати понюхати нашатирний спирт. При зупинці дихання треба зробити штучне дихання. Коли потерпілий опритомніє, слід напоїти його водним розчином солі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні небезпеки та шкідливості при зварюванні та різанні металів?
2. Що потрібно знати про електробезпеку?
3. У яких випадках рекомендують підключення до зварювального трансформатора пристрою зниження напруги неробочого ходу трансформатора?
4. Як правильно заземлити зварювальний трансформатор?
5. Якою має бути мінімальна напруга неробочого ходу, безпечна для зварювальника?
6. Як захиститись від отруєння газами, пилом і випарами?
7. Чим має бути оснащений зварювальний пост для пожежної безпеки?
8. Як зберігати карбід кальцію?
9. Чим відрізняється підключення до пальників ацетиленового і кисневого шлангів?
10. Чого треба уникати при експлуатації балонів зі стиснутими та скрапленими газами?
11. Які існують правила безпеки при неруйнівній дефектоскопії зварних з'єднань?
12. Яку першу допомогу треба надати при враженні електричним струмом?
13. Яку першу допомогу треба надати при загорянні одягу на людині?
14. Яку першу допомогу треба надати при отруєнні газами і при тепловому ударі?

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ДОДАТКИ

Додаток 1

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ

Параметри режиму зварювання або наплавлення містяться в технологічній карті, розробленій інженером-технологом, який користується відповідними довідниками, а реалізується при виготовленні металоконструкції зварником.

При цьому можливе коригування деяких параметрів залежно від конкретних умов виробництва: наявності необхідного обладнання, програми випуску продукції, наявності зварників необхідної кваліфікації тощо. Сучасні довідники зі зварювального виробництва (див. № 2, 3 списку рекомендованої літератури) інколи містять марки апаратів і джерел живлення з необхідними характеристиками, які зараз не випускаються.

Тоді треба звернутися до спеціалізованих фірм, які можуть допомогти у виборі потрібних сучасних екземплярів, бо вони працюють безпосередньо з підприємствами-виробниками зварювального обладнання.

Наприклад, у Запоріжжі існує така фірма-посередник «Тріада», яка є дилером австрійської фірми Fronius (її апарати MAGIC WAVE3000 для зварювання кольорових металів, TransTig 1750 Puls для аргоно-дугового зварювання та TRS 320i з програмним керуванням), аналогічні посередники представляють фірми ESAB (Mig C340 PRO) (Швеція), KEMPPI (Fast Mig M320) (Фінляндія) тощо. У разі необхідності вони можуть допомогти в налагодженні апаратури і навчанні персоналу.

Таблиця

Параметри режиму дугового зварювання та їх межі

Параметри режиму	Спосіб зварювання				Методи контролю
	Ручне дугове	У захисних газах		Автоматичне зварювання під флюсом	
		Вольфрамовим електродом	Плавким електродом		
Діаметр електрода, мм	1,8–6,0	1,0–5,0 $d_{прис.}$ 1,5–3,0	0,8–3,0	2,0–6,0	Штангенциркуль
Зварювальний струм, А	50–350	50–500	50–500	200–1500	Амперметр
Напруга на дузі, В	20–30	15–20	22–33	25–45	Вольтметр
Швидкість зварювання, м/год	–	–	–	20–50	Таблиця на апараті
Витрати газу	–	5,0–20,0	5,0–30,0	–	Ротаметр

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Безпосередньо на робочому місці параметри режиму вибираються так:

1. Рід струму, полярність – головна вимога – забезпечення стабільного горіння зварювальної дуги:

– постійний струм прямої полярності, постійний струм зворотної полярності, змінний струм – 3 варіанти підключення джерела живлення.

KemppI (Fast Mig M320)

Fronius (Magic Wave3000)

Fronius (TransTig 1750 Puls)

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Fronius (TRS 320i)

ESAB (Mig C340 Pro)

Технічні можливості наведені у довідниках і паспортних даних апаратів – зварювальних випрямлячів і трансформаторів. Інші параметри режиму наведені в таблиці.

Електричні параметри налаштовуються після запалювання дуги і регулюються:

– зварювальний струм – при ручному зварюванні пристроєм джерела живлення вручну, зміною швидкості подачі електродного дроту;

– зварювальна головка – при механізованому зварюванні.

Напруга на дузі регулюється вручну зварником шляхом розтягнення дуги або пристроєм джерела живлення при механізованому зварюванні. Швидкість зварювання регулюється плавно або ступінчасто механізмом переміщення зварювальної головки.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Додаток 2

ПРИКЛАД ЗМІСТУ ТЕСТІВ

Контрольні тести з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням»

1. З якою метою виконують розчищення кромок поєднуваних деталей?

а) Очищення від бруду.
б) Покращення формування шва.
в) Проникнення зварювальної дуги в корінь шва.
г) Збільшення продуктивності.

2. Яка речовина має максимальну температуру полум'я з киснем?

а) Водень.
б) Пропан.
в) Метан.
г) Ацетилен.

3. Назвіть галузі використання газового зварювання:

а) Зварювання тонколистового металу.
б) Зварювання профільного металу.
в) Зварювання труб.
г) Зварювання під водою.

4. Що таке зварювальна дуга?

а) Потужний електричний розряд.
б) Потужний електричний розряд в суміші газів і пари металу.
в) Потужний довготривалий розряд в суміші газів і пари металу.
г) Потужний електричний розряд у повітрі.

5. Як зробити повітряний проміжок електропровідним?

а) Наситити його електронами.
б) Наситити його іонами.
в) Наситити його електронами і йонами.
г) Наситити його порошками металу.

6. Назвіть основні технічні характеристики джерела живлення:

а) Зовнішня характеристика.
б) Напруга холостого ходу.
в) Напруга холостого ходу і зовнішня характеристика.
г) Зварювальний струм.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

7. Головна перевага електродів з кислим покриттям:

а) Можливість зварювання на будь-якому струмі і полярності.

б) Можливість зварювання будь-яких матеріалів.

в) Можливість зварювання у всіх просторових положеннях.

г) Можливість зварювання товстолистових конструкцій без розчищення кромок.

8. Головна перевага електродів з основним покриттям порівняно з електродами з кислим покриттям:

а) Можливість зварювання на будь-якому струмі і полярності.

б) Можливість зварювання конструкцій особливо важливого призначення.

в) Можливість зварювання погано зачищених кромок.

г) Можливість зварювання подовженою дугою.

9. Що таке гравітаційне зварювання?

а) Електрод подається у зону зварювання стандартним подавальним механізмом.

б) Електрод подається у зону зварювання під дією гравітації в космосі.

в) Електрод подається у зону зварювання під дією власної ваги.

г) Електрод подається у зону зварювання по напрямній під дією сили гравітації.

10. Які переваги має змінний зварювальний струм порівняно з постійним?

а) Більш дешевий.

б) Обладнання більш просте, надійне і дешеве.

в) Обладнання придатне для зварювання електродами з кислим і основним покриттям.

г) Обладнання менше важить.

11. Які міркування під час вибору захисного газу при зварюванні вольфрамовим електродом?

а) Вартість газу.

б) Тільки активний газ.

в) Тільки інертний газ.

г) Залежно від властивості металу.

12. Які міркування під час вибору захисного газу при зварюванні плавким електродом?

а) Вартість газу.

б) Тільки інертний газ.

в) Тільки активний газ.

г) Залежно від властивості металу.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

13. Що таке порошковий дріт?

а) Дріт з нанесеним зовні порошком.

б) Дріт з оболонки, наповненої металевим порошком.

в) Дріт з оболонки, наповненої спеціальною шихтою.

г) Дріт з оболонки, наповненої флюсом.

14. У чому полягає сутність зварювання в середовищі захисного газу?

а) Повітря використовується як захисний газ, який подається під тиском у зону зварювання.

б) Захисний газ активний чи нейтральний подається під тиском у зону зварювання.

в) Захисний газ подається під тиском у плавильний простір, витискуючи повітря з нього.

г) Захисний газ вступає в хімічну реакцію з оксидами металу, відновлюючи його.

15. У чому полягає сутність автоматичного зварювання під флюсом?

а) Розплавлений флюс захищає плавильний простір, а дріт укладається у розчищення.

б) Дріт і флюс подаються автоматично у плавильний простір, дуга переміщується механізмом.

в) Дріт і флюс подаються разом у плавильний простір, а дуга переміщується вручну у нижньому положенні.

г) Дріт і флюс подаються разом у плавильний простір, а дуга переміщується у всіх просторових положеннях.

16. Яку роль відіграє флюс при автоматичному зварюванні?

а) Збільшує продуктивність процесу.

б) Збільшує стабільність горіння дуги.

в) Захищає плавильний простір від повітря.

г) Захищає рідкий метал від шкідливих домішок.

17. Яка головна перевага автоматичного зварювання під флюсом порівняно з ручним дуговим зварюванням?

а) Можливість використання дроту великого діаметра.

б) Можливість зварювання на змінному і постійному струмі.

в) Підвищення продуктивності зварювання у 6–12 разів.

г) Зменшення частки електродного металу у складі зварного шва.

18. Які компоненти входять до складу флюсу для зварювання вуглецевих сталей?

а) $К_2CO_3$, Na_2CO_3, $MgCO_3$.

б) MnO, SiO_2, Al_2O_3.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

в) CaF_2, NaF, LiF.
г) Na_3AlF_6, NaCl, KCl.

19. Де виділяється теплова потужність при електрошлаковому зварюванні?
а) На вильоті електрода.
б) У зварювальній дузі.
в) На активних плямах дуги.
г) На шлаковій ванні.

20. Які особливості техніки електрошлакового зварювання?
а) Зварювання виконується у всіх просторових положеннях.
б) Зварювання виконується тільки у нижньому положенні.
в) Зварювання виконується тільки у вертикальному положенні.
г) Зварювання виконується тільки дротовим електродом.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Александров О. Г., Заруба І. І., Піньковський І. В.* Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. – К.: Техніка, 1998. – 176 с.

2. *Биковський О. Г.* Зварювання та різання кольорових металів: Довідковий посібник. – К.: Основа, 2011. – 392 с.

3. *Биковський О. Г.* Довідник зварника. – К.: Основа, 2014. – 448 с.

4. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин / За ред. В. С. Попова. – Запоріжжя: Вид-во ВАТ «Мотор-Січ», 2006. – 420 с.

5. *Карпенко А. С.* Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посіб. – 2-ге вид., переробл. та доповн. – К.: Арістей, 2006. – 272 с.

6. *Куркин С. А., Николаев Г. А.* Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с.

7. *Лупачев В. Г.* Сварочные работы: Учеб. пос. – Минск: Выш. шк., 1998. – 320 с.

8. *Маслов В. И.* Сварочные работы: Учеб. пос. для проф. обр. – М.: Изд. центр «Академия». – 2002. – 240 с.

9. *Поважук Г. М., Кравец Б. С.* Техника безопасности при сварочных работах. – К.: Будівельник, 1976. – 94 с.

10. *Роянов В. А., Зусин В. Я., Самотугин С. С.* Дефекты и качество при сварке и родственных процессах: Учеб. для студентов сварочного и машиностроительного направлений высших учебных заведений. – Мариуполь: Рената, 2010. – 225 с.

11. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие для нач. проф. образования / М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин и др.; Под ред. Ю. В. Казакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 400 с.

12. Сварочное дело: учебное пособие / О. Г. Быковский, В. А. Фролов, Г. А. Краснова. – М.: Кнорус, 2017. – 272 с. – (Среднее профессиональное образование).

13. *Стеклов О. І.* Основи зварювального виробництва: пер. з рос. – К.: Вища шк., 1990. – 222 с.

14. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учеб. для студентов вузов / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков и др.; Под ред. А. И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.

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

16. Технологія електродугового зварювання: Підручн. / І. В. Гуменюк, О. В. Іваськів, О. В. Гуменюк. – К.: Грамота, 2006. – 512 с.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

17. *Чернышов Г. Г.* Сварочное дело: Сварка и резка металлов: Учеб. для нач. проф. обр. – М.6 ИРПО; ПрофОбрИздат, 2002. – 496 с.

18. *Шаферовский В. А., Войцеховский Е. В.* Универсальные приспособления для сборки металлоконструкций. – Мариуполь: Изд-во Приазов. гос. техн. ун-та, 2004. – 127 с.

19. *Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, William A.* Bowditch and others. Modern Welding.: The goodheart-willcox company, inc. Tinley Park, Illinois 2004. – 784 с.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 3

Розділ 1
МАРКУВАННЯ І ЗВАРЮВАНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ 5
1.1. Леговані сталі й чавуни 7
1.2. Кольорові метали та їх сплави 9
Контрольні запитання 15

Розділ 2
ТИПИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. ФОРМИ ПІДГОТОВКИ КРОМОК
ПІД ЗВАРЮВАННЯ. СТАНДАРТИ НА ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ 16
Контрольні запитання 23

Розділ 3
ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ ШВІВ НА КРЕСЛЕННЯХ 24
Контрольні запитання 27

Розділ 4
ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ (3) 28
4.1. Будова зварювального полум'я, його різновиди і металургійні
процеси у зварювальній ванні 28
4.2. Обладнання й апаратура та їхні технічні характеристики 30
4.3. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання 36
4.4. Матеріали і технологія 39
4.5. Газополуменеві процеси обробки 44
Контрольні запитання 51

Розділ 5
ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ 53
5.1. Будова електричної дуги та її властивості 53
5.2. Перенос електродного металу і формування зварного шва 61
5.3. Особливості металургійних процесів 67
5.4. Показники зварюваності і методи їх визначення 68
Контрольні запитання 70

Розділ 6
РУЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ 72
6.1. Зварювання неплавким графітовим електродом (181) 72
6.2. Зварювання плавким покритим електродом (111) 75
6.3. Обладнання та його технічні характеристики 93
Контрольні запитання 103

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 7
ЗВАРЮВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ 105
7.1. Зварювання неплавким вольфрамовим електродом (141, 142, 143)....105
7.2. Зварювання плавким електродом (13).....123
7.3. Зварювання порошковим дротом (114) 139
Контрольні запитання 144

Розділ 8
АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ (12) 146
8.1. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання 146
8.2. Матеріали і технологія зварювання сталей і кольорових металів 151
8.3. Обладнання та його технічні характеристики.....155
Контрольні запитання 162

Розділ 9
ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ (72).....164
9.1. Вибір параметрів режиму і техніка зварювання 164
9.2. Технологія зварювання сталей, чавунів і кольорових металів....170
9.3. Обладнання та його технічні характеристики.....172
Контрольні запитання 176

Розділ 10
СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ 177
10.1. Електронно-променеве зварювання (51).....177
10.2. Лазерне зварювання (52) 181
10.3. Холодне зварювання.....183
10.4. Зварювання тертям (42) 185
10.5. Ультразвукове зварювання (41) 186
10.6. Дифузійне зварювання (45) 188
10.7. Зварювання вибухом (441).....190
Контрольні запитання 192

Розділ 11
МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ
І ДЕФОРМАЦІЙ 193
11.1. Сили, напруження і деформації у зварних конструкціях 193
11.2. Методи зменшення напружень 198
11.3. Методи зменшення деформацій 199
Контрольні запитання 203

Розділ 12
ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРУ, ФОРМИ І СКЛАДУ ЗВАРНОГО
ШВА ВІД ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ 204
Контрольні запитання 208

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Розділ 13
МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ, НАПИЛЕННЯ І МЕТАЛІЗАЦІЇ 209
13.1. Основні види зношування деталей машин і принципи вибору типу наплавленого матеріалу.....209
13.2. Вибір параметрів режиму і техніки наплавлення 211
13.3. Матеріали та технологія наплавлення, напилення і металізації поверхонь металу.....215
13.4. Обладнання для наплавлення, напилення і металізації 219
Контрольні запитання 220

Розділ 14
СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ТА ОСНАСТКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ 221
Контрольні запитання 231

Розділ 15
ГАЗОВЕ І ГАЗОВО-ФЛЮСОВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ (81) 232
15.1. Вибір параметрів режиму і техніка різання 232
15.2. Особливості різання чорних і кольорових металів 241
15.3. Обладнання і його технічні характеристики 243
Контрольні запитання 248

Розділ 16
ДУГОВЕ І ПЛАЗМОВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ (82) 249
16.1. Дугове різання. Вибір параметрів режиму і техніка різання 249
16.2. Плазмове різання. Вибір параметрів режиму і техніка різання....250
16.3. Обладнання для дугового і плазмового різання 252
Контрольні запитання 253

Розділ 17
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ 254
17.1. Заготівельні й складальні роботи 255
17.2. Виготовлення зварних балок 256
17.3. Виготовлення зварних ферм 259
17.4. Виготовлення зварних листових конструкцій.....263
17.5. Виготовлення технологічних трубопроводів 266
17.6. Виготовлення зварних деталей машин.....271
Контрольні запитання 272

Розділ 18
ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ (2) 273

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

18.1. Точкове і рельєфне зварювання (21) 273
18.2. Шовне зварювання (22).....287
18.3. Стикове зварювання опором 292
18.4. Стикове зварювання оплавленням (24) 296
18.5. Обладнання для електричного контактного зварювання.....302
Контрольні запитання 316

Розділ 19
ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ ШВІВ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ 317
19.1. Причини виникнення дефектів у зварних з'єднаннях 318
19.2. Допустимі розміри дефектів у металоконструкціях
загальнобудівельного призначення.....325
19.3. Дефекти швів і контроль якості з'єднань, виконаних
електричним контактним зварюванням 326
19.4. Контроль якості зварних з'єднань і обладнання для нього 332
19.5. Організація служби контролю якості 356
Контрольні запитання 364

Розділ 20
ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ У ЦЕХУ
І В МОНТАЖНИХ УМОВАХ 366
Контрольні запитання 372

Розділ 21
ОХОРОНА ПРАЦІ Й ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ СПОСОБІВ
ЗВАРЮВАЛЬНИХ І РІЗАЛЬНИХ РОБІТ.....373
21.1. Дугове зварювання.....373
21.2. Газове зварювання та різання 376
21.3. Електричне контактне зварювання 378
21.4. Дефектоскопія зварних з'єднань 380
21.5. Вимоги безпеки під час роботи зі складально-зварювальними
пристроями 381
21.6. Надання першої допомоги при нещасних випадках 382
Контрольні запитання 383

ДОДАТКИ:
Додаток 1. Вибір параметрів режиму зварювання 384
Додаток 2. Приклад змісту тестів 387

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 391

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Для нотаток

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Для нотаток

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Для нотаток

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Навчальне видання

Биковський Олег Григорович

ЗВАРЮВАННЯ, РІЗАННЯ Й КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Підручник
для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Редактор *Л. М. Прохорова.*
Художнє оформленн *Д. В. Кондратьєв.*
Комп'ютерна верстка ФОП *К. М. Васильковська.*

Підписано до друку 12.08.2021 р.
Формат 70×100/16. Папір офсетний № 1.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум.-друк. арк. 32,25. Обл.-вид. арк. 24,47. Тираж 20 946 прим.

Видавництво ТОВ «Основа»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців ДК № 1981 від 21.10.2004 р.
01032, м. Київ-32, вул. Жилянська, 87/30.
Тел.: (044) 584-38-97, т/ф: 584-38-95, 584-38-96.

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має
Міністерство освіти і науки України http://mon.gov.ua/ та Інститут модернізації змісту освіти https://imzo.gov.ua